

**ISAIAS BISSOTO**

**SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS ATRAVÉS DE SELETORES  
DE MATERIAIS E FORNECEDORES: UM ESTUDO DE CASO**

**CURITIBA  
2005**

**ISAIAS BISSOTO**

**SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS ATRAVÉS DE SELETORES DE  
MATERIAIS E FORNECEDORES: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Thais H. D. Sydenstricker

**CURITIBA  
2005**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

ISAIASBISSOTO

SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS ATRAVÉS DE SELETORES DE MATERIAIS E  
FORNECEDORES: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Mecânica, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Thais H. D. Sydenstricker  
PG-MEC/ UFPR

Prof. Aguinaldo dos Santos, PhD  
PG-MEC/ UFPR

Prof. Marcelo Gechele Cleto  
PG-MEC/ UFPR

Prof<sup>a</sup>. Marcia Cerqueira Delpech  
IQ/ UERJ

**Curitiba, Julho de 2005**

## AGRADECIMENTOS

Neuza e Rafael pela paciência, carinho, compreensão e ajuda.

Orientadora Prof. Dr<sup>a</sup>. Thais H. D. Sydenstricker pelo auxílio e dedicação.

Professores Dr. Hernán Contreras Alday (USF), Prof. Luiz Carlos Beraldi (FAE-CDE), Prof. Lucas Weihmann (PUC-PR) e Prof. Alberto Tadeu M. Cardoso (UFPR) pelo incentivo à persecução dos objetivos.

Volkswagen do Brasil como corporação, a seu corpo diretor, e em especial a meus superiores, Joaquim C. Alcantarilla e Fábio S. Freccia, pela compreensão, incentivo e flexibilidade nos horários de trabalho.

Alexandre Maneira dos Santos pela sugestão do estudo de caso.

Flávia Bassani e Rosângela F. Ferreira pelas análises de materiais e pelo auxílio na obtenção de dados.

Anésio Italiani pelos ensaios de materiais e testes de injeção.

Professores de PG-MEC Dr. Marcelo G. Cleto, Dr<sup>a</sup>. Virgínia B. Kistmann e Dr. Vladimir P. Poliakov pelo conhecimento recebido.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla G. Spinillo (UFPE) pela confiança e orientação de artigo.

Fábio Tomczak (LACTEC) pelas análises de TGA e DMA.

Todos os que, pela amizade, afeto, compreensão e ajuda, me incentivaram durante os trabalhos desta Dissertação.

Dr. Flávio Xavier de Oliveira, por ter acreditado em mim muito antes de todos e ter-me encorajado a perseguir um sonho que me trouxe até aqui.

Valdir Furlan pela confiança, respeito e inestimável amparo, sem os quais os sonhos teriam permanecido apenas sonhos.

## SUMÁRIO

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>   | <b>vii</b>  |
| <b>LISTA DE FOTOGRAFIAS.....</b>   | <b>viii</b> |
| <b>LISTA DE QUADROS.....</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>                               | <b>x</b>    |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>   | <b>xi</b>   |
| <b>LISTA DE TERMOS TÉCNICOS.....</b>                                     | <b>xii</b>  |
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>1</b>    |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | <b>2</b>    |
| <b>1- INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>3</b>    |
| 1.1 TEMA.....  | 3           |
| 1.2 O PROBLEMA.....  | 3           |
| 1.3 JUSTIFICATIVA.....   | 4           |
| 1.4 OBJETIVOS.....   | 5           |
| 1.4.1 Objetivos gerais.....  | 5           |
| 1.4.2 Objetivos específicos.....   | 6           |
| 1.4.3 Metodologia.....   | 6           |
| <b>2- A PORTINHOLA DO TANQUE DE COMBUSTÍVEL.....</b>                     | <b>7</b>    |
| <b>3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA LOGÍSTICA.....</b>                           | <b>12</b>   |
| 3.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS GLOBAL.....                                    | 12          |
| 3.2 ESTOQUE E DISTÂNCIAS GEOGRÁFICAS SUBSTANCIAIS.....                   | 14          |
| 3.3 DIFICULDADE E INACURÁCIAS ADICIONAIS NA PREVISÃO DE<br>ESTOQUES..... | 17          |
| 3.4 MATERIAIS ESCASSOS.....  | 19          |
| 3.5 TAXAS DE CÂMBIO E OUTRAS INCERTEZAS MACROECONÔMICAS.....             | 20          |
| 3.6 CUSTOS LOGÍSTICOS.....   | 21          |
| 3.7 GERENCIAMENTO ESTRATÉGICO DOS PRAZOS.....                            | 27          |
| 3.8 LOGÍSTICA BASEADA NO TEMPO.....                                      | 31          |
| 3.9 SERVIÇO AO CLIENTE.....  | 35          |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA TÉCNICA.....</b>  | <b>38</b> |
| 4.1 POLÍMEROS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....  | 38        |
| 4.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS.....   | 46        |
| 4.3 MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA INJEÇÃO.....   | 56        |
| 4.4 PROJETANDO OS PRODUTOS.....   | 57        |
| 4.5 O USO DE POLÍMEROS AFETANDO AS ESTRATÉGIAS DO NEGÓCIO.....                      | 63        |
| 4.6 A POLIETILAMIDA (PE).....   | 64        |
| <b>4.6.1 A Química da PE.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>4.6.2 Propriedades físicas da PE.....</b>  | <b>66</b> |
| <b>4.6.3 Propriedades mecânicas da PE.....</b>                                      | <b>68</b> |
| 4.7 BUSCA DE FORNECEDORES ALTERNATIVOS.....   | 69        |
| <b>5- MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>  | <b>71</b> |
| 5.1 MATERIAIS.....  | 71        |
| <b>5.1.1 Polietilamida (PE).....</b>  | <b>71</b> |
| <b>5.1.2 Molde.....</b>   | <b>72</b> |
| <b>5.1.3 Injetoras.....</b>   | <b>72</b> |
| <b>5.1.4 Dispositivo de resfriamento (berço).....</b>                               | <b>72</b> |
| <b>5.1.5 Equipamento para teste de tração.....</b>                                  | <b>73</b> |
| <b>5.1.6 Equipamento para teste de impacto.....</b>                                 | <b>73</b> |
| <b>5.1.7 Equipamento para teste de TGA.....</b>                                     | <b>73</b> |
| <b>5.1.8 Equipamento para teste de DMA.....</b>                                     | <b>73</b> |
| <b>5.1.9 Equipamento para teste de resistência à deformação térmica.....</b>        | <b>74</b> |
| <b>5.1.10 Equipamento para teste de densidade.....</b>                              | <b>74</b> |
| 5.2 MÉTODOS.....  | 74        |
| <b>5.2.1 Busca de polímeros substitutos através dos seletores de materiais.....</b> | <b>76</b> |
| <b>5.2.2 Busca de polímeros substitutos com fornecedores.....</b>                   | <b>77</b> |
| <b>5.2.3 Confeção de peças no mesmo molde.....</b>                                  | <b>77</b> |
| <b>5.2.4 Caracterização do material substituto.....</b>                             | <b>78</b> |
| 5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS POSSÍVEIS POLÍMEROS SUBSTITUTOS.....                         | 78        |
| <b>5.3.1 Ensaios de tração.....</b>   | <b>78</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>5.3.2 Ensaio de dureza de compressão de esfera.....</b>                      | <b>78</b>  |
| <b>5.3.3 Ensaio de resistência à deformação térmica.....</b>                    | <b>79</b>  |
| <b>5.3.4 Ensaio de densidade.....</b>   | <b>79</b>  |
| <b>5.3.5 Análise termogravimétrica.....</b>                                     | <b>79</b>  |
| <b>5.3.6 Análise dinâmico-mecânica.....</b>                                     | <b>79</b>  |
| <b>5.3.7 Teste de injeção em molde.....</b>                                     | <b>80</b>  |
| <b>6- RESULTADOS OBTIDOS.....</b>   | <b>81</b>  |
| 6.1 PROCESSO DE SELEÇÃO DA ALTERNATIVA À PPA EM <i>SITES</i> DE SELETORES DE    |            |
| MATERIAIS.....  | 81         |
| 6.2 AVALIAÇÃO DOS SELETORES DE MATERIAIS UTILIZADOS.....                        | 89         |
| 6.3 ORIENTAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DE UM <i>SITE</i> PARA SELETOR DE               |            |
| MATERIAIS POLIMÉRICOS.....  | 96         |
| 6.4 O PROCESSO DE SELEÇÃO DA ALTERNATIVA À PPA COM                              |            |
| FORNECEDORES.....   | 102        |
| <b>6.4.1 Os dados obtidos com a PPA de fonte importada.....</b>                 | <b>103</b> |
| <b>6.4.2 Os Dados obtidos com a PPA de fonte local.....</b>                     | <b>104</b> |
| <b>6.4.3 Os Dados obtidos com poliamidas reforçadas com fibra de vidro.....</b> | <b>105</b> |
| <b>6.4.4 Os Dados obtidos com a mistura PC/PBT.....</b>                         | <b>106</b> |
| 6.5 HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DA MISTURA PC/PBT.....                          | 111        |
| <b>6.5.1 Propriedades mecânicas da mistura PC/PBT.....</b>                      | <b>113</b> |
| <b>7- CONCLUSÕES.....</b>   | <b>117</b> |
| <b>8- SUGESTÕES.....</b>  | <b>119</b> |
| <b>9- REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>120</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 - Comércio Exterior Brasileiro nos Anos '90.....  | 24  |
| Figura 2 - Crescimento do Comércio e da Produção Mundial.....                                      | 25  |
| Figura 3 - Classificação dos polímeros.....  | 42  |
| Figura 4 - Diagrama da construção do sistema de banco de conhecimento.....                         | 52  |
| Figura 5 - Análise da falha baseada em casos.....  | 54  |
| Figura 6 - Etapas realizadas por um seletor de materiais.....                                      | 54  |
| Figura 7 - Estrutura ou árvore de conhecimento para obter a qualidade funcional de um sistema..... | 55  |
| Figura 8 - Diagrama de Fluxo para estabelecimento do procedimento de seleção de material.....      | 62  |
| Figura 9 - Modelo de gráfico para apresentação dos resultados do seletor proposto.....             | 101 |
| Figura 10 - Ensaios realizados e resultados obtidos:<br>PC/PBT x especificação PPA.....            | 108 |
| Figura 11 - TGA: mistura PC/PBT.....   | 109 |
| Figura 12 - DMA: mistura PC/PBT.....   | 110 |



## LISTA DE FOTOGRAFIAS

|   |   |
|---|---|
| Fotografia 1 – Parte externa da peça..... | 8 |
| Fotografia 2 – Parte interna da peça..... | 8 |
| Fotografia 3 – Peça montada no carro..... | 8 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro1 - Principais polímeros usados na indústria automotiva.....                    | 44  |
| Quadro2 - Encadeamento proposto para o banco de dados do seletor.....                 | 97  |
| Quadro3 - Interface homem-máquina proposta para o modelo de seletor de materiais..... | 99  |
| Quadro4 - Detalhamento do funcionamento do seletor proposto.....                      | 100 |
| Quadro5 - Caracterização das poliamidas testadas.....                                 | 106 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|          |  |
|----------|--|
| $\alpha$ | Coeficiente de expansão ou contração térmica linear  |
| D.A.M.   | Sigla do idioma inglês para Dry-As-Molded, condição de umidade do polímero moldado tal como obtida no processo de injeção  |
| DIN      | Sigla do idioma alemão para Deutsche Institut für Normung, Instituto Alemão de Normatização  |
| DMA      | Sigla do idioma inglês para Análise Dinâmica mecânica  |
| FOB      | Sigla do idioma inglês para Free-On-Board, a forma de comercializar uma mercadoria estrangeira, aonde o vendedor disponibiliza no convés do navio de transporte, com frete interno ao país já pago e já desembarcada na origem |
| G        | Rigidez de polímero  |
| JIT      | Sigla do idioma inglês para Just-In-Time, uma forma de disponibilizar as peças para construção do automóvel no exato momento de sua montagem no carro  |
| MAS      | Sigla do idioma inglês para Manufacturing Advisory System, sistema de aconselhamento de manufatura   |
| PA       | Poliamida  |
| PBT      | Poli(tereftalato de butileno)  |
| PC       | Polycarbonato  |
| PEEK     | Poli(éter-éter-cetona)   |
| PET      | Poli(tereftalato de etileno)   |
| PPA      | Poliftalamida  |
| R.H.     | Sigla do idioma inglês para Relative Humidity, umidade relativa  |
| RTM      | Sigla do idioma inglês para Resin Transfer Moulding, moldagem por transferência de resina  |
| $T_g$    | Temperatura de transição vítrea  |
| TGA      | Sigla do idioma inglês para Análise termogravimétrica  |
| $T_m$    | Temperatura de fusão cristalina  |
| ®        | Marca registrada do fabricante   |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1 - Estimativas do <i>lead time</i> total do ciclo logístico..... | 16  |
| Tabela 2 - Participação do Brasil no Comércio Mundial.....               | 24  |
| Tabela 3 - Composição de materiais do veículo em questão.....            | 39  |
| Tabela 4 - Propriedades típicas da PPA reforçada com carga mineral.....  | 71  |
| Tabela 5 - Resultados obtidos no site da Ge Plastics.....                | 84  |
| Tabela 6 - Resultados obtidos no site Matweb.....                        | 85  |
| Tabela 7 - Ensaios realizados e resultados obtidos:                      |     |
| PC/PBTx especificação PPA.....   | 108 |

## LISTA DE TERMOS TÉCNICOS

- Benchmarking— Palavra do idioma inglês, usada para designar pesquisa conduzida com mercado ou produtos similar ao do caso em estudo, para verificar quais as soluções que poderiam ser adotadas no problema em estudo
- Berço ou Dispositivo de resfriamento forçado— Usado para consolidação da geometria da peça recém-injetada até seu resfriamento à temperatura ambiente
- Casca de laranja— Aspecto superficial da pintura de uma peça que apresenta o mesmo aspecto “ondulado” da casca da fruta
- Chicoteamento— Distorção das informações de demanda à medida que nos distanciamos do cliente final ao longo da cadeia de suprimentos
- Download— Termo do idioma inglês para designar a cópia para o computador do usuário de arquivos da rede de computadores
- Empenamento— Liberação das tensões internas da peça após o processo de injeção que acarreta deformações na geometria original
- Estoque pulmão— Estoque extra, necessário para cobrir flutuações imprevistas de demanda
- Ferramenta ou Ferramental— sinônimos para indicar a matriz construída com o propósito de obtenção de peças injetadas em polímero
- Expert— Pessoa com notório conhecimentos sobre seu campo de atuação
- Gargalo— Atividade mais lenta numa cadeia de produção
- Grade— Termo do idioma inglês para designar uma categoria de um polímero diferenciado, seja pela adição de aditivos ou cargas ou de um tratamento especial
- Internet— Rede mundial de computadores
- Lead time— Tempo médio de uma etapa que define o tempo logístico total de uma operação
- Merchandising— Termo do idioma inglês para designar forma de propaganda muito difundida nos sites da Internet
- Molde— Ver Ferramenta
- Praticagem— Atividade especializada em portos na condução do navio através do canal de atracagem por embarcação que evite as partes rasas do canal
- Primer— Primeira camada de um sistema de pintura, aplicada sobre uma superfície.

Programação orientada a objeto – Ferramenta computacional que visa a dotar de flexibilidade e maior usabilidade a criação de códigos e bancos de dados

Site – Página da rede mundial de computadores (Internet)

Software – Termo do idioma inglês para Programa de computador

Terceirização – Delegar a uma pessoa física ou jurídica alguma atividade específica da companhia

Trade-off – Critério de desempate

## RESUMO

A Poliftalamida (PPA) é um polímero de alto desempenho não produzido no Brasil, de custo elevado e de difícil processamento. Quando conformada em peças automotivas para acabamento externo, exige a aplicação de uma camada de *primer* antes de ser pintada. Apesar de sua indicação de uso em peças da indústria automotiva devido às suas excelentes propriedades, sua substituição por outros plásticos implicaria em uma série de vantagens no processo produtivo. Neste trabalho avaliou-se a substituição da PPA da portinhola do tanque de combustível de automóveis por outros polímeros. Estudaram-se as implicações inerentes às possíveis alterações no molde de injeção desta peça, nas condições de injeção e no acabamento final. Foram utilizados e avaliados vários seletores de materiais disponíveis na Internet para a identificação de possíveis materiais substitutos à PPA. Após o resultado desta busca em *sites*, foram sugeridas melhorias para a elaboração de um novo seletor de materiais poliméricos. A avaliação final deste trabalho considerou os benefícios/limitações da substituição da PPA da portinhola do tanque de combustível, as adaptações necessárias no processo produtivo e a indicação ou não dessa troca. Finalmente, foi recomendado o uso de uma mistura Policarbonato/ Poli (tereftalato de butileno) PC/PBT 20/80, material mais leve, produzido no Brasil, de menor custo que a PPA e de desempenho compatível com as solicitações mecânicas da peça em estudo.

**Palavras-chaves:** Seletor de materiais, poliftalamida, PPA, PC/PBT, indústria automotiva, logística.

## ABSTRACT

Poliphthalamide (PPA) is a high-performance, high-cost, difficult-to-process polymer, not produced in Brazil. When applying it to automotive outer parts, it demands the use of a primer layer prior to painting. Despite the applicability of PPA to automotive parts due to its outstanding properties, the substitution of this material by another polymers would imply in many advantages on the production process of the specific part. In this study, the substitution of PPA at the fuel tank cap lid by another polymers was evaluated. The inherent implications in possible changes concerning the injection mould, the injection process and the finishing of this part were also considered. Various materials selectors available in the Internet were used to identify possible substitute materials to PPA. After the selectors usage, a series of enhancements to these sites were suggested in order to make possible the creation of a better layout of a materials selector for a future implementation. The final evaluation presented in this study has considered the compromise benefits/limitations of the substitution of PPA at the fuel tank cap lid by another polymer, the necessary changes in the production process of this part and the recommendation whether to change the material or not. Finally, it was recommended the use of a 20/80 Polycarbonate / Polybutylene terephthalate (PC/PBT) blend, a lighter, lower cost material than PPA, produced in Brazil and presenting a compatible mechanical performance with the fuel tank cap lid.

**Keywords:** Materials Selector, poliphthalamide, PPA, PC/PBT, automotive industry, logistics.



## 1- INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA

Substituição de materiais poliméricos através de seletores de materiais e fornecedores. Estudo de caso da substituição da PPA (Poliftalamida) em peça de acabamento externo de veículo produzido na Região Metropolitana de Curitiba.

### 1.2 O PROBLEMA

O presente trabalho versa sobre as dificuldades técnicas e logísticas, envolvidas com a produção da portinhola da tampa do tanque de combustível de um veículo produzido por uma montadora na região metropolitana de Curitiba, e seu abastecimento na linha de montagem desta empresa. A peça é produzida via injeção de polímero, em molde especificamente desenhado para o material, e apresenta deficiências no processo produtivo. As melhorias conseguidas com os ajustes no molde e no processo de injeção não resolveram satisfatoriamente o problema.

A análise do processo como um todo revelou deficiências logísticas quanto:

- À disponibilidade do polímero utilizado (poliftalamida, ou simplesmente PPA, um polímero de alto desempenho) para a confecção da peça;
- Ao processo produtivo de injeção deste polímero;
- À tecnologia disponível no Brasil para o processamento deste material;
- À produtividade do processo de produção;
- À qualidade da peça produzida;

- Ao abastecimento da peça à linha de montagem do veículo em produção, com consequência direta na montagem do veículo final.

A PPA foi escolhida como material para esta peça do carro em questão devido às suas propriedades superiores, mesmo nas condições mais adversas, como baixas temperaturas, comuns na Europa, onde o carro foi projetado e também é construído. A utilização de materiais mais comuns, como a poliamida reforçada com fibra de vidro, não foi indicada inicialmente em razão de suas deficiências quanto à temperatura de operação (torna-se quebradiça a temperaturas abaixo de 15 °C negativos e impactos sofridos pela peça podem estilhaçá-la) e por se tratar de um veículo competindo no segmento mais expressivo na Europa. Desta forma, o engenheiro construtor preferiu especificar um material que superasse as propriedades dos materiais empregados pelos concorrentes.

Devido ao investimento efetuado na confecção do molde de injeção, a montadora impôs que não fosse construído novo molde, aceitando no máximo pequenas alterações na ferramenta já existente e desenhada especificamente para uso com a PPA.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O uso de PPA para a confecção de peças de acabamento externo em veículos, dadas às suas características, traz algumas vantagens em relação à utilização de metais nessas aplicações. Contudo, existem problemas para este emprego no Brasil, seja pela menor disponibilidade de máquinas adequadas ao processamento deste polímero ou pelo seu alto custo. Considerando que a indústria automotiva no Brasil tem como rotina terceirizar a produção de peças que são montadas na fábrica, dificuldades de processamento reduzem o número de possíveis fornecedores.

O PPA é um polímero importado, de alto desempenho, porém de difícil processamento e pouco usado no Brasil. Assim, não há dados técnicos suficientes para sanar dificuldades associadas à injeção desse polímero, processo mais utilizado em peças de acabamento externo da indústria automobilística. Além da necessidade da determinação de condições ótimas de injeção para diferentes peças, a estabilidade dimensional da peça em PPA injetada é crítica e se não for usado um artifício para a estabilização das tensões internas, comumente são observadas deformações no produto. A utilização de um dispositivo de resfriamento forçado (conhecido como “berço”) para a consolidação da geometria/ propriedades da peça de PPA é um gargalo no ciclo de injeção. Aliado às dificuldades de moldagem, a PPA exige uma camada de *primer* para uma boa ancoragem da pintura de acabamento. Tendo em vista que o aspecto visual da peça e a qualidade da pintura têm máxima importância em peças de acabamento externo de automóveis, os inconvenientes da utilização de PPA para confecção da portinhola do tanque de combustível podem ser sanados pela substituição desse polímero por outro que dispense a utilização de *primer*, seja de mais fácil processamento e tenha menor custo e/ou maior disponibilidade logística, como um polímero produzido e fornecido no mercado local.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivos gerais

Discutir as limitações para a utilização da PPA em componentes automotivos.

Investigar quais fontes de seleção de materiais podem indicar com segurança e confiabilidade um material substituto à PPA que atenda aos requisitos de projeto.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar as principais variáveis do processo de obtenção da peça em questão;
- Propor o uso de polímero alternativo ao atualmente empregado para a obtenção da peça;
- Apresentar sugestões de aumento da eficiência de busca aos seletores de materiais utilizados.

### **1.4.3 Metodologia**

- Aplicar ao estudo de caso o processo de seleção de materiais via algoritmos computadorizados e via gráfico de propriedades;
- Realizar uma avaliação do processo de busca de polímeros alternativos;
- Executar testes de injeção e análises dos materiais selecionados;

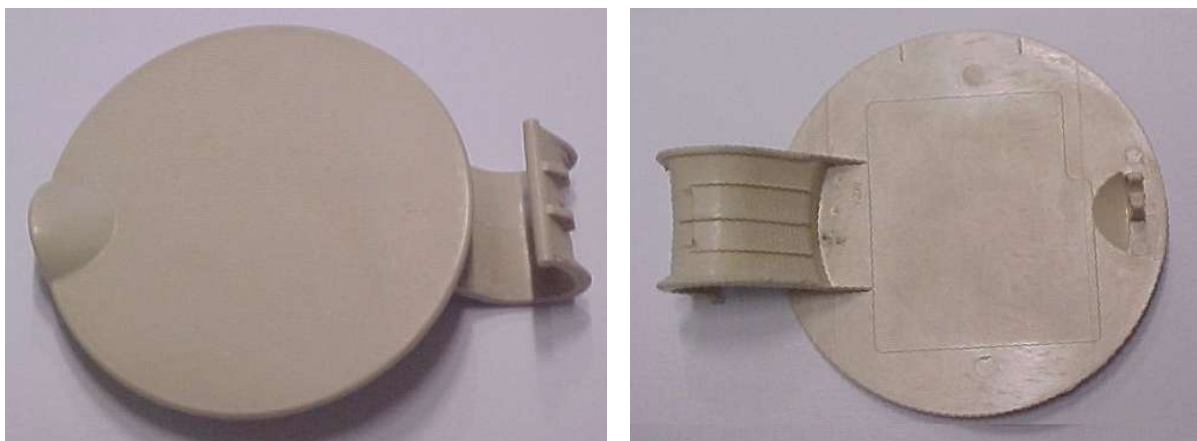
## 2- A PORTINHOLA DO TANQUE DE COMBUSTÍVEL

Nas Fotografias 1, 2 e 3 mostra-se a peça, objeto de estudo nesta Dissertação. As Fotografias 1 e 2 mostram frente e verso da peça bruta, tal como extraída da injetora. A Fotografia 3 ilustra a peça acabada, montada no carro e visivelmente desalinhada com a carroceria devido ao empenamento da peça. A portinhola da tampa do tanque de combustível de um automóvel é considerada uma peça bastante complexa, pois apresenta algumas características bastante específicas:

- a) Deve ter resistência mecânica relativamente alta devido ao constante manuseio por diferentes pessoas a que está sujeita;
- b) Deve apresentar resistência a ataques químicos, notadamente combustíveis, pelo contato direto e a possibilidade de derramamento de combustível durante o enchimento do tanque;
- c) Deve ter resistência a temperaturas extremas por ser uma peça de acabamento externo e estar sujeita às variações climáticas;
- d) O polímero utilizado para a confecção desta peça deve ser compatível com o processo de pintura necessário ao acabamento superficial exigido pelo veículo ao qual pertence.

Fotografia 1 – Parte externa da peça

Fotografia 2 – Parte interna da peça



Fotografia 3 – Peça montada no carro

Fonte: acervo pessoal do autor

O material empregado na construção de peças de um automóvel é um bem intermediário que se destina à transformação industrial para a produção de outro bem, ou parte de um produto final. Assim, os materiais incorporam suas características e nível tecnológico ao produto final de que farão parte. As propriedades físico-químicas e as características técnicas dos materiais empregados devem ser correlacionadas, portanto, com o processo de industrialização a que este material será submetido ao ser conformado na peça final, bem como a peça deve ser analisada quanto às funções que ela exercerá no produto final.

Os materiais são selecionados em primeiro lugar por suas características. Estas características podem ser alteradas ou até mesmo denegridas, tanto no processo de transformação industrial do material na peça quanto durante o manuseio final da peça pelo usuário. Os processos de moldagem sempre alteram as propriedades dos polímeros, acrescentando-lhes características como forma ou orientação. Assim, manter as propriedades iniciais do polímero dentro de uma faixa aceitável e de modo estável, após um processo de produção, é um requisito importante na indústria automotiva, sendo um indicador de qualidade e desempenho, demandas de um mercado consumidor cada vez mais exigente.

Quando se utiliza um material plástico para confecção de uma peça é necessário avaliar o processo de fabricação e as funções/solicitações a que a peça vai estar sujeita durante seu uso. Em particular, na indústria automotiva, é importante considerar a escolha do material plástico, sua obtenção, disponibilidade, a fabricação da peça e sua aplicação no veículo na linha de montagem final. Para cumprir este roteiro, muitas inovações são necessárias quando se pretende propor alterações, não sendo possível reduzir o nível de qualidade do produto.

Para a construção da portinhola do bocal do tanque de combustível de um veículo ofertado aos mercados europeus e americanos, uma renomada montadora optou pelo uso de um polímero de alto desempenho, a polifitalamida (PPA), reforçada com 40% de carga mineral, para conferir à peça propriedades superiores às obtidas com o material convencionalmente aplicado para este fim, a poliamida 6 (PA6) reforçada com fibra de vidro. As características exigidas foram:

- a) Excelente estabilidade dimensional;
- b) Excelente resistência química;
- c) Excelentes propriedades mecânicas;
- d) Baixa absorção de umidade.

A utilização da PPA nesta peça conferiu-lhe indiscutivelmente estas propriedades. Todavia, com o emprego deste material, o processo produtivo desta peça mostrou-se extremamente instável desde o início. Por se tratar de um material totalmente desconhecido dos transformadores no Brasil, o processamento da PPA exigiu muitas horas de adaptação do processo de injeção.

Imediatamente ao ser extraída da injetora, a peça apresenta ótimas condições dimensionais, que vão se perdendo com o processo de resfriamento da mesma. Ao resfriar, a peça sofre severas variações dimensionais e de forma, conhecidas como empenamento, que impedem sua montagem no veículo.

Os estudos subsequentes do processo revelaram que se trata de uma limitação do processo de injeção devido ao projeto singular deste molde, um molde desenhado especificamente para este material, sob condições muito rígidas de processo e de construção da ferramenta. Isto significa dizer que quaisquer alterações no processo de injeção seriam inócuas para a eliminação desta variação, já que o problema reside na complexidade da construção do molde. Assim, foi construído um dispositivo de resfriamento forçado para as peças recém injetadas que exerce uma pressão contrária à força do empenamento na peça, para o qual a peça é transferida após ser extraída da injetora e mantida até atingir a temperatura ambiente. No entanto, este procedimento sacrifica a produtividade e onera a produção da peça.

Outro problema detectado no processamento deste polímero foi sua degradação em função do alto tempo de residência do material fundido na injetora. A perda da resistência mecânica da peça injetada e o eventual comprometimento do acabamento superficial acarretavam em elevados índices de rejeição de peças. A este cenário somase:

- a) A dificuldade de obtenção da PPA, um polímero obtido de produtor estrangeiro;
- b) O custo básico elevado do material no país de origem, adicionado aos custos de importação;



- c) Outras complexidades logísticas inerentes, como o transporte interno no continente até o porto de embarque para o Brasil, o desembarço de exportação no país de origem, o transporte marítimo, o desembarço aduaneiro e o uso de armazéns alfandegados no Brasil;
- d) O conceito logístico *just-in-time* seqüenciado associado ao suprimento da portinhola do tanque de combustível na linha de montagem final do veículo.

### 3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA PARTE LOGÍSTICA

#### 3.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS GLOBAL

Segundo Cortiñas Lopez (2000), a indústria automobilística, assim como a maioria das indústrias operando no Brasil, utiliza-se regularmente do transporte marítimo para a importação e exportação de seus insumos e produtos vindos da América do Norte ou de outros continentes. Em alguns casos mais específicos e especiais, o uso de fretes aéreos é recomendado. Entre países da América do Sul, o transporte rodoviário e ferroviário é empregado em larga escala. Tal procedimento tem o objetivo primordial de manter os custos em operações logísticas os mais baixos possíveis.

Domier et al. (2000) afirmam que, à medida que as atividades da cadeia de suprimentos localizam-se em todo o mundo e o fluxo de produtos começa a atravessar as fronteiras nacionais, os gerentes das cadeias de suprimentos enfrentam as incertezas e as complexidades da rede logística globalizada. Analisando o problema sob uma perspectiva gerencial, as cadeias de suprimentos globais apresentam diversas características que as diferenciam das nacionais, sendo as mais importantes abordadas ao longo deste trabalho.

Cortiñas Lopez (2000) diz que a redução do tempo e espaço impõe a Governos e empresas esforço máximo para obtenção de vantagem competitiva. Isto exige forte política de treinamento e recursos humanos e maior capacitação tecnológica a fim de permitir saltos de produtividade e qualidade de bens e serviços, fundamentais à competição.

As mudanças verificadas nesta última década, as quais vêm transcorrendo em velocidade cada vez maior como se resultando de processo de aceleração constante, têm afetado o cotidiano das pessoas em praticamente todo o planeta.

Ainda segundo Cortiñas Lopez (2000), a globalização foi precipitada pelas chamadas ondas de desregulamentação de mercados e flexibilização de monopólios. Com isto, a concorrência rompeu barreiras e ignorou bandeiras e idiomas. Grandes empresas passaram a ver pequenas empresas como parceiras (via terceirização e/ou divisão de negócios), numa visão de ganhar competências competitivas visando à maior produtividade e qualidade. Assim, a competitividade de uma empresa resulta mais do que nunca de sua capacidade produtiva, somada ao conhecimento e utilização adequada dos mecanismos para oferta de seus produtos à mão de seus consumidores, atendendo satisfatoriamente à trilogia preço, prazo e qualidade. Boa parte do sucesso depende do desempenho do produtor, que não deve medir esforços para se adequar ao nível de eficiência dos concorrentes, nacionais ou internacionais, principalmente através de ganhos de produtividade.

O comércio está hoje baseado na divisão internacional do trabalho, maior especialização e redução de custos. Neste sentido, por vezes a qualidade não é o tema principal, ficando atrás de fatores como preço e prazo de entrega.

Analisando-se o tema desta Dissertação sob este aspecto, temos um cenário digno de preocupação. Discute-se sobre um componente padrão do acabamento externo de automóveis que, apesar de possuir pequenas dimensões, provoca impacto elevado quando, por alguma razão, não esteja disponível em quantidades e nos prazos adequados, podendo retardar a conclusão de um veículo e sua entrega ao mercado para comercialização.

Considerando-se os tempos envolvidos para disponibilização das matérias-primas necessárias à produção das peças, quanto mais distante a fonte de suprimento, tanto maior será o estoque necessário para cobrir este tempo de trânsito. A preocupação com estoque e distâncias quando a cadeia de suprimentos é globalizada é, portanto, justificada.

### 3.2 ESTOQUE E DISTÂNCIAS GEOGRÁFICAS SUBSTANCIAIS

Segundo Christopher (1997), estamos acostumados a tempos de trânsito longos para carregamentos procedentes do além-mar. Da Europa, os fretes marítimos têm um tempo de trânsito de aproximadamente quatro semanas, do Japão, este tempo praticamente dobra. Em contraste, se usarmos frete aéreo, o tempo consumido entre o despacho e o recebimento é de cerca de cinco dias.

A utilização de frete marítimo pode representar um investimento considerável em estoque em alto mar e também uma restrição para a aplicação da decisão de adiar a entrega até o último momento possível como princípio básico de logística.

Em se tratando de comércio exterior, segundo Cortiñas Lopez (2000), o fator tempo dá ao Brasil uma desvantagem inicial intrínseca, caracterizada pela distância física considerável que o separa da maioria de seus clientes e fornecedores. Este fato é muito relevante, pois, nos processos logísticos de importação e exportação, estas grandes distâncias são, na maioria das vezes, vencidas através de fretes marítimos, de baixo custo, mas bastante lentos, implicando em tempos de viagem de uma a quatro semanas, num só sentido.

Ao importar insumos para exportação de produtos finais via marítima, o fabricante brasileiro tem entre duas e oito semanas obrigatoriamente anexadas aos seus tempos logísticos sobre as quais quase nada pode fazer. A única alternativa é o transporte aéreo; rápido, mas freqüentemente inadequado e caro.

Se a América do Sul estiver em questão, o transporte rodoviário pode ser considerado. Com isto, como fator de competitividade global, os fabricantes brasileiros devem gerenciar adequadamente os tempos envolvidos em sua cadeia logística para compensar esta desvantagem geográfica.

Para Christopher (1997), à medida que os verdadeiros custos da cadeia logística de suprimento vão ficando mais bem conhecidos, aumenta a utilização de frete aéreo. As penalidades dos estoques altos e da falta de flexibilidade de resposta para as necessidades do mercado são tais que o *trade-off* tenderá cada vez mais para tempos de trânsito cada vez menores e modalidades de trânsito mais rápidas.

Procedimentos de embarque, consolidação e liberação alfandegária contribuem para atrasos e variações nos prazos da cadeia de suprimento global. A experiência confirma que este é um dos maiores problemas para as companhias que operam globalmente. Como consequência disto, os gerentes regionais tendem a compensar esta falta de confiabilidade, fazendo pedidos maiores, duplicando os estoques reguladores e exercendo pressão sobre a fabricação e sobre a organização central, com consequência direta nos custos.

A Tabela 1 resume as principais atividades do ciclo logístico e os tempos necessários para sua conclusão.

Tabela 2 - Estimativas do *lead-time* total do ciclo logístico

| Atividade   | Transporte (Dias) |             |             |             |             |             |
|---|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | Marítimo          |             | Aéreo       |             | Terrestre   |             |
|   | Atua<br>I         | Ideal       | Atua<br>I   | Ideal       | Atua<br>I   | Ideal       |
| <b>Importação</b>   |                   |             |             |             |             |             |
| Homologação do produto negociado  | 6,9               | 1,8         | 6,9         | 1,8         | 6,9         | 1,8         |
| Licença de importação prévia ao embarque  | 4,6               | 0,9         | 4,6         | 0,9         | 4,6         | 0,9         |
| Processo do fornecedor internacional de insumos (*)   | 20,5              | 9,5         | 20,5        | 9,5         | 20,5        | 9,5         |
| Documentos do fornecedor internacional  | 5,6               | 2,2         | 5,6         | 2,2         | 5,6         | 2,2         |
| Transporte local, desde as instalações do fornecedor dos insumos importados até o terminal, para embarque ao Brasil | 4,6               | 2,6         | 2,3         | 1,3         | 4,8         | 4,1         |
| Desembarço aduaneiro na saída do país de origem   | 0,9               | 0,6         | 0,9         | 0,6         | 0,9         | 0,6         |
| Transporte internacional na importação  | 21,4              | 15,0        | 2,3         | 1,4         | 7,5         | 6,8         |
| Movimentação e armazenagem nas instalações alfandegadas no Brasil, antes do desembarço aduaneiro                    | 3,3               | 1,0         | 3,3         | 1,0         | 3,3         | 1,0         |
| Desembarço aduaneiro de importação, no Brasil   | 3,6               | 1,1         | 3,6         | 1,1         | 3,6         | 1,1         |
| Transporte local, desde o terminal internacional até as instalações do comprador                                    | 1,3               | 0,6         | 1,3         | 0,6         | 1,3         | 0,6         |
| <b>Subtotal importação</b>  | <b>72,7</b>       | <b>35,3</b> | <b>51,3</b> | <b>20,4</b> | <b>59,0</b> | <b>28,6</b> |

(\*) Único componente que se refere exclusivamente a processo produtivo de mercadoria.

FONTE: CORTIÑAS LOPEZ, J. M. *Os custos logísticos do comércio exterior*. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

Segundo Domier et al. (2000), o aumento da distância implica em *lead-times* de transporte mais longos. As empresas compensam-no com estoques maiores no canal de distribuição. Contudo, os tempos mais longos de transporte não aumentam simplesmente o comprimento médio dos prazos de suprimento, mas lhes adicionam também variabilidade. As entregas de produtos que cruzam as fronteiras nacionais estão sujeitas a complicações e atrasos imprevisíveis devido aos procedimentos alfandegários burocráticos. Esta incerteza é tratada por estoques pulmão maiores, os quais contribuem para o comportamento errático do efeito de chicoteamento, que é a distorção das informações de demanda à medida que nos distanciamos do cliente final ao longo da cadeia de suprimentos.

Uma pequena variação ou flutuação sazonal na demanda real pode “bater o chicote” para fornecedores a montante, levando-os a alternar entre ociosidade e superprodução. A volatilidade

resultante no nível de estoque pode levar a situações custosas de falta de materiais e produtos, de falta de resposta oportuna às necessidades do cliente e a altos custos administrativos.

Um estudo empreendido pelo Comitê de Competitividade Global da Câmara Americana de Comércio (apud Cortiñas Lopez, 2000) afirma que a dimensão tempo é um dos mais importantes fatores para a competitividade, pois condiciona o prazo de entrega do produto ao cliente. Isto causa uma série de dificuldades para a previsão do volume de estoque necessário ao andamento suave da produção.

### 3.3 DIFICULDADES E INACURÁCIAS ADICIONAIS NA PREVISÃO DE ESTOQUES

De acordo com Dornier et al. (2000), tempos de respostas aumentados devido às maiores distâncias geográficas sempre complicam as tarefas de previsão. No entanto, a distância é apenas um fator que complica essas tarefas. Locais geograficamente distantes, na maior parte dos casos, implicam em que as empresas operem em diferentes ambientes culturais, usando diferentes línguas e observando diferentes práticas de operação. Essas diferenças aumentam substancialmente as dificuldades de comunicação, criando visões distintas e suposições nas quais se baseiam cenários para a evolução do mercado futuro.

Somando-se a essas complexidades o conhecido fenômeno de discrepância de previsão entre diferentes áreas funcionais, o resultado será um problema agudo de informação altamente distorcida e inacurada que será usada para propósito de planejamento. Utilizando-se destes dados distorcidos, o planejamento e previsão de estoque da empresa terá os mesmos vícios, o que lhe prejudica substancialmente.

Christopher (1997) afirma que cinquenta por cento ou mais do ativo circulante da companhia freqüentemente será encontrado nos estoques. Na indústria automobilística, que trabalha com um número elevado de componentes para a fabricação do automóvel, este percentual representa um montante de capital imobilizado que deixa de estar disponível para fazer frente às outras solicitações do cotidiano da produção, sendo um fator decisivo na competitividade e custos de produção.

A logística se preocupa com todos os estoques dentro da companhia: de matéria-prima, subconjuntos, componentes comprados até a produção em andamento e de produtos acabados. A política da companhia para níveis de estoque e sua localização certamente influenciará a quantidade do estoque total.

Outro fator importante é o grau de monitoramento e gerenciamento de seus níveis e, além disso, quais os sistemas em que estágio eles operam para minimizar as necessidades de estoque.

Para Domier et al. (2000), a teoria tradicional de estoque especifica que os estoques de segurança necessários para cobrir a incerteza da demanda variam com a faixa do erro de previsão. Assim, na cadeia de suprimentos global, fabricantes acabam carregando maiores níveis de estoque e devem lidar, devido ao efeito exacerbado de chicoteamento, com maior volatilidade nesses níveis. Materiais escassos, aqui se entendendo também materiais indisponíveis em curto espaço de tempo—como matérias-primas importadas de outros continentes - adicionam mais incertezas aos níveis de estoque, como veremos a seguir.



### 3.4 MATERIAIS ESCASSOS

A escassez de material, segundo Dornier et al. (2000), pode causar sérios problemas para cadeias de suprimentos globais, forçando as empresas a re-projetar suas tecnologias de equipamento de processo ou até mesmo seus produtos para minimizar o uso de materiais escassos. Matérias-primas importadas são freqüentemente escassas devido às restrições de importação causadas por falta de divisas estrangeiras. Em outros casos, problemas de suprimentos derivam de um quadro subdesenvolvido de fornecedores ou de sistemas de transporte.

Para superar tais problemas, concorda o mesmo autor, as empresas assumem diversos métodos e ações criativas. Faltas nos suprimentos e programas irregulares podem criar um caos no processo de planejamento da cadeia de suprimentos global. A reação típica de manter altos níveis de estoque de matérias-primas ou estoque em processo exacerba a dinâmica perversa do efeito do chicoteamento, ao mesmo tempo em que torna impossível ter em certas redes de fábricas os princípios do fornecimento e produção *Just-In-Time* (JIT).

Na indústria automotiva, onde o volume de capital circulante é muito grande, a manutenção de níveis elevados de estoque representa uma sobrecarga muitas vezes insuportável para as empresas envolvidas na cadeia de suprimento de componentes. Para não comprometer o planejamento e o controle de produção na montadora, os fornecedores são solicitados a executar um planejamento de materiais criterioso de forma a assegurar que flutuações de demanda não sejam limitantes de fornecimento de componentes. Assim, mesmo sendo informado pela montadora do nível de produção a ser mantido para os próximos meses, a incerteza força o fornecedor a manter estoques extras, visando absorver as possíveis flutuações para cima. O efeito perverso se dá quando as flutuações são

para baixo e a companhia se vê às voltas com elevado estoque de materiais muito caros e sem previsão de consumo.

Uma vez que o suprimento de componentes é fruto de contratos celebrados entre a montadora e seus fornecedores, informado o nível de produção pela montadora, o fornecedor precisa assegurar o suprimento de suas peças no volume solicitado, sob pena de arcar com custos decorrentes da quebra do programa de produção da montadora. Esta variável pode inviabilizar uma empresa, pois estes custos de parada de produção podem ser insuportáveis para um fornecedor.

Domier et al. (2000) comentam que a falta de equipamentos e tecnologias de processo em determinados países pode também limitar seriamente os processos de desenvolvimento e produção de determinados produtos. Nesses casos, as empresas são forçadas a realizar a pesquisa e o desenvolvimento localmente para obter equipamentos e tecnologias de processos locais. No caso do setor automotivo o problema torna-se sério quando questões tais como as restrições às importações ou as incertezas macroeconômicas forçam o desenvolvimento e uso de equipamentos e tecnologias locais.

### 3.5 TAXAS DE CÂMBIO E OUTRAS INCERTEZAS MACROECONÔMICAS

As taxas de câmbio e a inflação, conforme Domier et al. (2000), são dois dos fatores macroeconômicos complicadores no ambiente da cadeia de suprimentos global. A exposição às taxas de câmbio afeta a economia implícita de qualquer empresa lidando com compradores, fornecedores ou concorrentes estrangeiros por meio de seu impacto nos custos de entrada, preços de venda e volume de venda.

Ao trabalharse com materiais importados, quanto mais estável a economia e, por extensão, a taxa de câmbio de um país, tanto mais simples e previsível o cenário de custos e preços finais a serem operados por uma empresa.

As oscilações no câmbio e nos outros fatores da política macroeconômica de uma nação incluem variáveis na condução da política de negócios de uma empresa operando com cadeia logística global que exige um nível limítrofe de operação. Esta limitação pode inviabilizar o negócio caso as políticas de fixação de preços finais e de aquisição de insumos importados não sejam intimamente atreladas.

Uma condição que pode ser fatal para o negócio, ocorre quando os preços pagos pelos insumos (que são fixos em moeda externa, mas flutuantes na moeda local, devido às incertezas da economia da nação) superam os preços acordados em contrato para os produtos fornecidos pela companhia aos seus clientes. O grau de risco envolvido é função do tempo que perdurar esta condição. Tal incerteza, na maioria das vezes, é vencida com sobre-preços nos produtos finais, agravando ou, muitas vezes, inviabilizando a competitividade das empresas com seus concorrentes.

Assim, o correto gerenciamento dos custos envolvidos na obtenção dos insumos e na comercialização e disponibilização dos bens e serviços para os clientes é um fator primordial a ser observado pela empresas num cenário de intensa competição, tal como o que se observa presentemente na economia brasileira.

### 3.6 CUSTOS LOGÍSTICOS

Cortiñas Lopez (2000) afirma que o preço final de uma mercadoria transacionada no mercado internacional, apurado no mercado final de consumo, pode ser desdobrado de forma simples em três componentes: custos de fabricação, custos logísticos e lucro.

Os custos logísticos são os diretamente ligados à distribuição física, envolvendo toda a gama de tarefas relativas ao deslocamento desta mercadoria, da matéria-prima até o seu destino final. Assim, a determinação de competitividade de uma mercadoria ocorre no mercado final. É mais competitiva a mercadoria entregue ao consumidor no menor preço, ainda mais que o fenômeno da globalização reduziu muito as distâncias anteriormente existentes entre concorrentes, em termos de qualidade e tempo de entrega. Os próprios preços finais dos produtos foram comprimidos, estreitando-se a margem de lucro dos vendedores.

Domier et al. (2000) revelam que, à medida que as empresas começam a operar partes de suas cadeias de suprimentos globais em países em desenvolvimento, encontram deficiências substanciais em recursos infra-estruturais, seja nas redes de transportes, capacidade de telecomunicação, qualificação do trabalhador, qualidade de materiais ou fornecedores, equipamentos etc. Neste ponto, o Brasil apresenta às empresas automotivas um desafio a mais, pois várias fontes de problemas são observadas nas operações automotivas brasileiras que exigem soluções baseadas nos conhecimentos locais para resolução do problema. É o caso das operações portuárias, que contam com instalações despreparadas tecnologicamente e ainda altamente burocratizadas. Materiais importados aplicados no automóvel são fruto de preocupação constante para o gerenciamento da cadeia logística, seja pela disponibilidade do material ou pelos custos envolvidos no processo. Esta é uma das razões do estudo desta Dissertação, que visa a retirar a complexidade do gerenciamento

logístico existente sobre a portinhola da tampa de combustível de um veículo produzido na região metropolitana de Curitiba.

Cortiñas Lopez (2000) comenta que os custos logísticos de comércio exterior podem decorrer de uma quantidade enorme de serviços de diversas naturezas, os quais podem ser cumulativos ou não. A apuração do valor médio para cada tipo de despesa é de extrema dificuldade, tendo em conta as diversas variáveis que interferem em sua determinação. Dentre as mais importantes destacam-se as características de cada produto, seu valor médio por tonelada (valor unitário), o acondicionamento, a forma de negociação etc.

Agregadas aos custos logísticos, as despesas inerentes ao transporte internacional alcançam, em média, 16% sobre o valor FOB (*free-on-board*) para empresas de grande porte com tradição no comércio exterior enquanto que, para as demais, chegam em média a 40%. Esta diferença de percentuais está relacionada à manutenção de contratos com empresas especializadas no trato com questões de comércio internacional, onde os custos para aquelas que se utilizam rotineiramente da estrutura destas empresas é mais diluído do que para aquelas que só o utilizam raramente ou sazonalmente (CORTIÑAS LOPEZ, 2000).

O mesmo autor cita que, como ocorre na maioria dos setores econômicos, os custos logísticos em operações de comércio exterior têm apresentado tendência declinante ao longo das últimas décadas, tanto em relação ao comércio internacional como um todo, como em relação às compras e vendas brasileiras. Esta tendência se deve basicamente ao aumento de transações comerciais entre países em percentuais muito superiores aos verificados na economia global, o que gera significativos ganhos de escala nas tarefas pertinentes. A Figura 1 mostra a evolução do comércio exterior brasileiro na década de 1990, onde se verifica o crescimento das transações ao longo dos anos.

Cortiñas Lopez (2000) afirma que os custos brasileiros involuíram em taxas inferiores às dos demais países devido a um crescimento bem inferior à taxa mundial verificado no comércio exterior brasileiro. A Tabela 2 mostra a queda de participação do Brasil no comércio internacional de 1984 a 1999 e a Figura 2 mostra o crescimento do comércio e da produção mundial no período de 1950-2000.

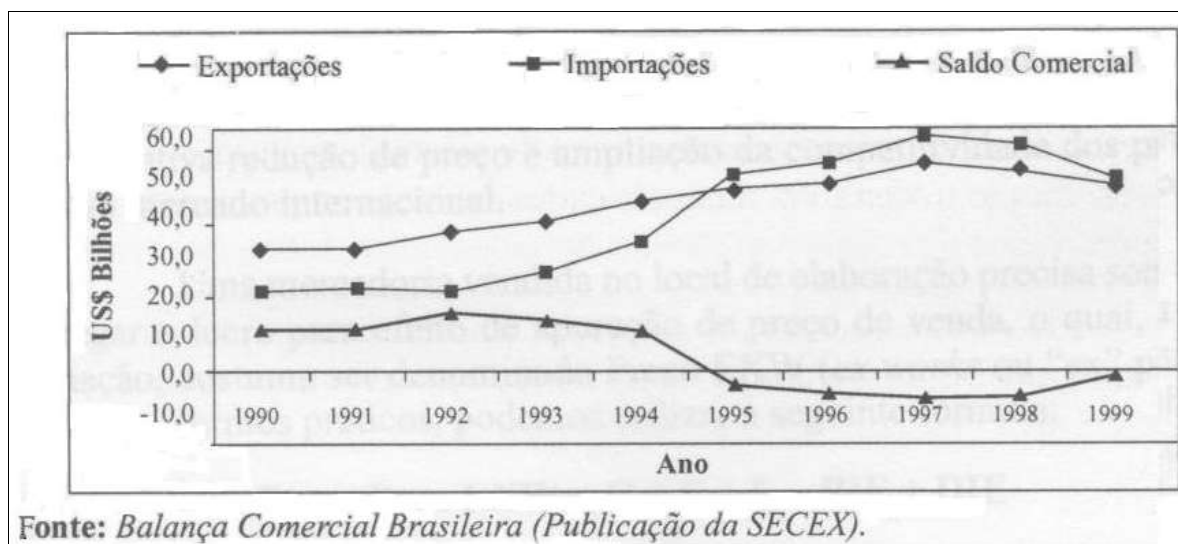


Figura 2 - Comércio Exterior Brasileiro nos Anos '90

FONTE: CORTIÑAS LOPEZ, J. M. *Os custos logísticos do comércio exterior*. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

Tabela 2 – Participação do Brasil no Comércio Mundial

| Participação do Brasil no comércio mundial                      |       |
|---|-------|
| 1984  | 1,5%  |
| 1999  | 0,9%  |
| Participação do Brasil nas importações de manufaturas pela OCDE |       |
| 1984  | 0,76% |
| 1999  | 0,58% |

OCDE – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (grupo de 25 países de economia forte).

FONTE: International Statistics Yearbook apud CORTIÑAS LOPEZ, J. M. **Os custos logísticos do comércio exterior**. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

Figura2 – Crescimento do Comércio e da Produção Mundial



FONTE: CORTIÑAS LOPEZ, J. M. *Os custos logísticos do comércio exterior*. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

Segundo Cortiñas Lopes (2000), os custos portuários são afetados por vários fatores, dentre os quais destacam-se:

- Os elevados preços de praticagem das embarcações, puxados principalmente pela cara remuneração de alguns profissionais;
- O baixo nível de treinamento de alguns trabalhadores;
- A ineficiência administrativa;
- A falta de investimento nos portos, resultando numa drástica reversão dos custos praticados, por conta das transferências dos portos para a iniciativa privada (como exemplo a quantidade de equipamentos dos portos brasileiros em comparação aos do exterior é bem inferior, além de menos eficientes);
- A morosidade dos procedimentos de fiscalização;
- As despesas burocráticas;
- A regulamentação excessiva;
- A demorado atendimento dos navios.

Numa escala decrescente de importância, segundo Cortiñas Lopez (2000), empresas consultadas numa pesquisa indicaram as seguintes etapas como geradoras de complicação na importação de mercadorias:

- Desembarço aduaneiro no Brasil para importação;
- Licença de importação prévia ao embarque;
- Movimentação e armazenagem em instalações alfandegadas no Brasil, antes do desembarço aduaneiro de importação;
- Documentos do fornecedor internacional;
- Transporte internacional;
- Homologação do produto negociado;
- Transporte local, no Brasil.

Conforme Cortiñas Lopez (2000), numa pesquisa efetuada na década de 1990 nos portos do Rio de Janeiro, verificou-se que os problemas relativos à fila de espera e estadias demoradas são normalmente causados nas operações de embarque e desembarque. Em média 80 % dos atrasos nas operações portuárias se deveram aos agentes marítimos (falta de documentação, tanto de navio, como de tripulação e mercadorias), às autoridades federais (polícia federal, saúde dos portos e fiscalização aduaneira) e quebra de equipamentos. Já no final daquela década se observava crescimento médio anual de 7% na movimentação de cargas nos portos brasileiros, fruto da política de descentralização administrativa e retirada do Estado do controle dos portos.

Assim, neste estudo de caso, da substituição de material plástico da portinhola da tampa de combustível de um automóvel, pretende-se reduzir a complexidade logística associada à utilização da PPA. Objetiva-se também avaliar a viabilidade do fornecimento da peça em material substituto em volumes adequados à manutenção do nível de produção da montadora, com mesma qualidade e maior produtividade, com redução significativa de custos pela desincorporação dos custos relativos à



importação do material e seu gerenciamento logístico complexo. Isto elimina também a necessidade de complexas estratégias de gerenciamento de prazos, visando cumprir os acordos comerciais celebrados em contratos. O conceito de gerenciamento estratégico de prazos é amplamente difundido e conhecido em qualquer empresa que opere cadeias logísticas mais complexas, conforme visto a seguir.

### 3.7 GERENCIAMENTO ESTRATÉGICO DOS PRAZOS

Christopher (1997) comenta que a expressão “Tempo é dinheiro”, embora estereotipada, é ainda muito válida no gerenciamento da logística. Não só o tempo representa custo, mas também prazos extensos implicam em penalidades ao serviço ao cliente. Na consideração dos custos existe uma relação direta entre o comprimento do fluxo logístico e o estoque que fica retido nele, pois em cada dia de retenção do produto ocorrem despesas de manutenção de estoque.

Os prazos longos representam respostas mais lentas às necessidades dos clientes. Uma vez que a velocidade das entregas é cada vez maior no ambiente internacional competitivo de hoje, esta combinação de altos custos e a falta de sensibilidade para com o cliente pelo não-cumprimento dos prazos completa a receita para a decadência e a deterioração do negócio.

Segundo Christopher (1997), os clientes estão cada vez mais sensíveis ao cumprimento de prazos. Em outras palavras, eles valorizam o tempo e isto se reflete em seus comportamentos de compras. Nos mercados industriais, os compradores procuram adquirir de fornecedores mercadorias que ofereçam menores prazos e que atendam seus requisitos para a qualidade. No passado, com frequência, o preço exercia uma grande influência na decisão da compra. Hoje, ele continua importante, mas o principal determinante na escolha do fornecedor é o “custo do tempo”, simplesmente

representado pelos custos adicionais incorridos a um cliente enquanto espera pela entrega ou enquanto procura uma alternativa. Para o fornecedor que não reconheça a importância do tempo como uma variável competitiva ou cujos sistemas não possam satisfazer as necessidades dos mercados em rápida mutação, os custos passam a ser insuportáveis.

O conceito de prazo logístico, na opinião do mesmo autor, equivale ao tempo que se leva para converter um pedido em caixa. Enquanto os gerentes há muito já compreenderam o impacto competitivo do ciclo curto de pedidos, esta é apenas uma parte de todo o processo através do qual o capital de giro e os recursos estão envolvidos com um pedido.

Para Christopher (1997), a partir do momento que se toma uma decisão para alocar recursos e fazer a aquisição de materiais e componentes, passando pelo processo de montagem de subconjuntos até a distribuição final e apoio pós-venda, há uma infinidade de atividades complexas que devem ser gerenciadas para se conquistar e conservar o mercado. Este é o verdadeiro campo do gerenciamento logístico.

Dado à importância do fator tempo na cadeia logística global e ao quase total desconhecimento da sua influência sobre a competitividade global, é imperioso descobrir os tempos médios decorridos para a realização de cada atividade, catalogando e hierarquizando os gargalos que causam aumento desnecessário de prazos em cada atividade.

O termo gargalo é aplicado à atividade mais lenta numa cadeia e embora ela possa, na maioria das vezes, ser uma máquina, pode também ser uma parte do fluxo de informações. O tempo de processo do sistema completo é determinado pelas atividades gargalo e, portanto, para acelerá-lo é importante concentrar-se nestas atividades, adicionando capacidade onde for possível reduzir os tempos de preparação de máquinas, por exemplo.

Christopher (1997) comenta que a chave para o controle bem-sucedido dos prazos logísticos é o gerenciamento do fluxo total, que é o processo pelo qual os tempos de fabricação e de aquisição são conectados às necessidades dos mercados. Os objetivos do gerenciamento do fluxo logístico são menores custos, alta velocidade de ação, maior variedade, mais flexibilidade e tempos de resposta menores. A realização destes objetivos depende do gerenciamento da cadeia de suprimentos como uma entidade e da procura pelo encurtamento do fluxo e/ou aceleração do mesmo.

Ao examinar a eficiência das cadeias de suprimentos, freqüentemente descobrimos que muitas das atividades que ocorrem adicionam mais custos do que valor. O desafio do gerenciamento do fluxo logístico é descobrir meios com os quais se possa melhorar a relação entre o tempo consumido em atividades que adicionam valor e aquele consumido com atividades que adicionam custos. O gerenciamento estratégico do prazo visa comprimir a cadeia, em termos de consumo de tempo, de tal modo que o tempo que agrega custos seja reduzido. A preocupação das gerências quanto ao fluxo deve ser a remoção de seus bloqueios e interrupções, os quais acarretam acúmulo de estoque e prolongamento dos tempos de resposta.

Para Cortiñas Lopez (2000), o prejuízo da imagem do fabricante brasileiro e o aumento indevido do prazo de entrega, elevam os custos pela carga de estoque por mais tempo do que o necessário. Os ganhos obtidos com o gerenciamento da cadeia de suprimento visando redução de tempo é expressivo, levando-se em conta a redução razoável de custos por carga de estoque.

Christopher (1997) declara que, devido ao fato de as companhias não estarem gerenciando bem o fluxo total de materiais e informações que ligam as fontes de fornecimento ao último cliente, existe uma oportunidade extremamente grande para a melhoria da eficiência deste processo. É o caso, por exemplo, da substituição de uma fonte de matéria-prima importada por outra local, objeto desta Dissertação, que praticamente elimina a complexidade logística envolvida no suprimento da

peça. Assim, qualquer ação que vise a retirar ou a minimizar a necessidade de uso intensivo de capital e/ou conhecimento em uma operação, seja logística, produção, fornecimento ou gerenciamento de cadeia, pode e deve ser estudada, visando a melhoria do processo como um todo, desde a obtenção de insumos por fornecedores até a disposição dos componentes pela montadora, com o objetivo principal de garantir a entrega de um produto melhor e mais adequado ao cliente.

Aqui não se pode esquecer que os fornecedores da indústria automotiva não são necessariamente empresas de grande porte, com tecnologia de administração, produção e logística de mesmo nível que as montadoras para as quais fornecem. É prática comum a montadora auxiliar seus fornecedores nos casos mais complexos, visando seu próprio interesse por cumprimento de prazos e requisitos de qualidade.

Christopher (1997) afirma que, nas companhias nas quais não foi reconhecida a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos como um sistema integrado, ocorre invariavelmente consumo de períodos de tempo consideráveis nas interfaces entre os estágios adjacentes do processo total e também nos procedimentos executados ineficientemente. No caso do fluxo logístico, ocorre com frequência consumo de tempo não apenas nos processos lentos, mas também na manutenção de estoque desnecessário, seja na forma de matérias-primas, semimanufaturados, espera num gargalo ou produtos acabados.

Para Christopher (1997), todos os processos logísticos podem ser vistos como uma rede de atividades interligadas que somente podem ser otimizadas de forma global, através do enfoque de tempo do ciclo total.

A teoria das restrições, mais conhecida como tecnologia de produção otimizada, baseia-se na questão que todas as atividades da cadeia logística podem ser categorizadas como gargalos e não-

gargalos. Entretanto, igualmente importante é entender que as atividades não-gargalos não devem receber o mesmo tratamento que as atividades consideradas gargalos.

A produção destas atividades deve ser controlada pelas necessidades dos gargalos que elas alimentam. Desta maneira, pode-se gerenciar adequadamente os prazos e atender aos tempos pré-determinados de aquisição de materiais, preparação da produção, produção e entrega dos produtos ou serviços. A linha temporal é assim dominada e controlada pela companhia, o que se torna um diferencial competitivo.

### 3.8 LOGÍSTICA BASEADA NO TEMPO

Segundo Handabaka (1994), a disponibilidade de informação de baixo custo gerou a *era da competição baseada no tempo*. Os executivos estão aprendendo a explorar a tecnologia de informação em um esforço para aumentar a velocidade e a precisão do desempenho logístico. Isto significa, em outras palavras, compartilhar informação para melhorar a acurácia das previsões de vendas e reduzir a dependência do comprometimento antecipado de estoque. Isto é possível à medida que se pode obter rapidamente informações exatas relativas às atividades de vendas e se exerce um melhor controle operacional.

Para Ching (1999), as empresas procuram executar as atividades logísticas de forma mais rápida, de modo a reduzir os recursos financeiros necessários à sua execução. A meta é encurtar e controlar o tempo desde o recebimento até a entrega dos pedidos, em um esforço para acelerar a rotação do estoque. A redução do estoque é possível, pois as incertezas dos erros de previsão e da entrega são reduzidas a um mínimo. Em decorrência das condições de descontos e das práticas de

faturamento, a empresa consegue vender a mercadoria antes de assumir legalmente sua propriedade e, ainda assim, qualificar-se para descontos por pagamento imediato.

Handabaka (1994) afirma que a logística baseada no tempo está fundamentada em dois conceitos para viabilizar o desempenho em tempo hábil e a redução do custo total: postergação e consolidação. Sistemas bem-sucedidos, baseados no tempo, exigem que os executivos, tanto de suprimentos como de vendas, entendam o potencial da postergação e da consolidação para melhorar a produtividade logística.

A postergação, segundo Handabaka (1994), é abordada há muito na literatura de administração de empresas. Exemplos práticos, contudo, só foram publicados recentemente. A postergação é um meio de reduzir o risco de uma estratégia de antecipação. Em organizações tradicionais, a maior parte da movimentação e da armazenagem de estoque é executada em antecipação às transições futuras. Se for possível postergar a produção ou a distribuição de um produto até o recebimento efetivo de um pedido do cliente, o risco da produção ou da composição de estoques incorretos ou inadequados será automaticamente reduzido ou eliminado. São essenciais dois tipos de postergação para a formulação de uma estratégia logística: postergação da produção ou de *forma* e postergação da logística ou do *tempo*.

A visão da postergação da produção na opinião de Handabaka (1994) significa que os produtos são fabricados na forma de um pedido por vez, sem nenhum trabalho preparatório nem compras de componentes até que as especificações exatas do cliente sejam totalmente conhecidas e o compromisso de venda seja firmado.

O sonho de fabricar conforme o pedido não é novo, nova mesma é a expectativa de que a produção flexível possa alcançar essa capacidade de resposta sem sacrificar a eficiência. Se a

tecnologia puder apoiar estratégias de produção flexíveis ditadas pelo mercado, as empresas ver-se-ão totalmente livres da dependência das previsões de vendas para orientar a logística por antecipação.

Na prática, segundo Ballou (2001), ainda não se pode negligenciar a economia proporcionada pelo tamanho do lote de produção. O desafio é quantificar a diferença entre o custo e o risco da produção antecipada, bem como a perda da economia de escala resultante da implantação de procedimentos flexíveis. O dimensionamento do lote de produção requer racionalização das despesas de suprimento, além da agilização da preparação ou da troca da linha, tudo comparado com o custo e o risco da acumulação de estoque de produto acabado. De uma perspectiva tradicional de gerenciamento, a programação da produção é feita para obter-se o menor custo unitário de produção. Da perspectiva integrada, o que se quer é atingir a satisfação desejada do cliente pelo menor custo total. A postergação da produção pode ser exigida para viabilizar a eficiência de toda a empresa.

A aplicação ideal da postergação na visão de Ching (1999) é fabricar um produto básico ou padrão em lotes suficientes para realizar as economias de escala e adiar o acabamento de aspectos específicos, como a cor, até o recebimento do pedido do cliente. Com isto, reduz-se o número de unidades em estoque para apoiar um esforço de marketing de linhas amplas, mantendo-se economias de escala de produção em massa. Ou seja, até o seu acabamento, o produto pode atender a vários clientes diferentes.

Assim o impacto da postergação da produção é duplo: a variedade de produtos diferenciados, movimentados antes da venda, é reduzida. Com isto, o risco de surgirem problemas logísticos é menor. Outro impacto é o uso de instalações logísticas e de relações no canal para realizar a produção leve e a montagem final. Se não houver economias de escala interessantes ou se não for exigido alto nível de especialização nesta etapa, pode-se realizar a personalização dos produtos perto do mercado

de destino do cliente ou delegá-la ao distribuidor final, no ponto de venda, através da instalação dos componentes de personalização como acessórios, por exemplo.

Para Bertaglia (2003), a postergação geográfica ou logística, sob certos aspectos, é o oposto da postergação da produção. Sua noção básica é manter apenas um estoque antecipado da linha completa em um ou alguns poucos locais estratégicos. O destino final é postergado até o recebimento do pedido do cliente. Todos os esforços são feitos para mover os produtos diretamente para os clientes o mais rapidamente possível. Elimina-se assim a antecipação da distribuição e mantém-se a economia de escala da produção.

Ching (1999) cita que diversas aplicações da postergação logística envolvem suprimento de peças de serviço. Peças essenciais e de alto custo são mantidas em um estoque central para assegurar disponibilidade a todos os usuários. A postergação logística foi viabilizada pela maior capacidade de processar, transmitir e entregar pedidos com alto nível de precisão e rapidez. Ao contrário da postergação da produção, os sistemas que usam a postergação logística mantêm todas as economias de escala de produção e, ao mesmo tempo, atendem às exigências de serviço ao cliente, utilizando capacidade de entrega direta.

### 3.9 SERVIÇO AO CLIENTE

Um termo comum segundo Christopher (1997) em se tratando de serviço ao cliente é a “utilidade de tempo e de lugar”, ou seja, oferecer o produto certo, no lugar certo, ao cliente certo, no momento certo, que é aquele em que o cliente o deseja.



A função do serviço ao cliente é fornecer “utilidade de tempo e de lugar” na transferência de mercadorias e serviços entre o comprador e o vendedor. De outra forma, não existe qualquer valor no produto ou serviço até que ele esteja nas mãos do cliente ou do consumidor. Segue que tomar o produto ou serviço “disponível” é, em essência, tudo o que se espera da função de distribuição no negócio. Este é um conceito complexo que envolve uma infinidade de fatores que, juntos, constituem o serviço ao cliente. Dentre estes fatores estão o nível de estoque, a frequência e a confiabilidade de entrega e o tempo consumido no ciclo dos pedidos.

Na verdade, poderíamos dizer que o serviço ao cliente é determinado pela interação de todos estes fatores que colocam o processo de fabricação dos produtos e a prestação de serviços disponíveis ao comprador. Existem várias idéias do que se constitui no “serviço ao cliente”, mas todas têm em comum o fato de estarem envolvidas com os relacionamentos na interface comprador/vendedor.

Quais são os elementos de serviço ao cliente para os quais se devem estabelecer padrões na opinião de Christopher (1997)? Primeiramente, existem os padrões internos de serviço. Em muitos casos, eles refletem os padrões que os clientes externos colocam. Neste caso, os clientes são quem estabelecem estes padrões. A seguir são listadas algumas áreas-chave, aonde os padrões pré-estabelecidos são essenciais:

1. Ciclo do pedido – é o tempo decorrido entre o recebimento do pedido e a entrega do produto. Os padrões devem ser estabelecidos de acordo com as preferências do comprador;
2. Disponibilidade do estoque – Relacionase com a percentagem de demanda de um determinado item que pode ser encontrado no estoque;
3. Restrições de tamanho do pedido – um número cada vez maior de clientes procura o tipo de entrega *just-in-time* para pequenas quantidades. Temos flexibilidade para arcar com os principais tipos de demanda de nossos clientes?

4. Facilidade de colocação do pedido – somos acessíveis e fáceis de fazer negócios? Nosso sistema comunica-se com o deles?
5. Frequência de entrega – uma manifestação nova da tendência para os tipos de entrega *just-in-time* é que os clientes exigem entregas mais frequentes com prazos cada vez menores. Novamente é a flexibilidade de resposta que deve ser a base para o padrão de desempenho;
6. Confiabilidade de entrega – que proporção do total de pedidos é entregue na hora certa? Um reflexo não somente do desempenho da entrega, como também da disponibilidade de estoque e do desempenho do processamento dos pedidos;
7. Qualidade da documentação – qual o índice de erros nas faturas, notas fiscais e outras comunicações com os clientes? A documentação é “amigável” ao cliente? Esta é a fonte de um número surpreendentemente grande de falhas do serviço;
8. Procedimentos para reclamações – qual a tendência para as reclamações? Quais são suas causas? Com que rapidez tratamos as queixas e reclamações? Temos algum procedimento de “recuperação do nível de serviço”?
9. Pedidos entregues completos – que proporção dos pedidos entregamos completos, ou seja, que não provoca devolução nem o fornecimento é parcial?
10. Suporte técnico – que tipo de suporte proporcionamos aos clientes depois da venda? Se oportuno, temos procedimentos para medir o tempo de atendimento das chamadas e o índice de conserto na primeira chamada?
11. Informação sobre a posição dos pedidos – podemos informar ao cliente, a qualquer momento, sobre a posição de seus pedidos? Temos algum tipo de linha direta ou coisa que o valha? Temos procedimentos para informar o cliente sobre problemas potenciais na disponibilidade do estoque ou na entrega?

Christopher (1997) considera que todas estas questões podem ser quantificadas e medidas de acordo com as exigências do cliente. Similarmente, todas podem ser comparadas com o desempenho competitivo. Uma vez que todos estes pontos de serviço ao cliente são de importância potencial, dois

deles estão sendo vistos de modo mais crucial para a conquista e conservação dos clientes: a confiabilidade da entrega e os pedidos entregues completos.

Na verdade, estes dois elementos podem ser combinados em uma única medida de desempenho: pontualidade. E esta pontualidade de entrega pode ser comprometida por uma única peça como a portinhola do tanque de combustível que não ficou pronta em tempo devido ao trâmite de importação do material ou devido ao processamento muito complexo deste item. Desta maneira, a importância deste estudo encontra ampla fundamentação tanto na literatura quanto na experiência prática cotidiana da indústria automotiva.

A seguir, verificaremos as implicações técnicas envolvidas com a obtenção do componente objeto desta Dissertação, desde as matérias-primas, passando pelo processamento e entrega da peça no ponto de montagem.

## **4- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA PARTE TÉCNICA**

### **4.1 POLÍMEROS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Segundo Herais (2003), a substituição de materiais tradicionais por poliméricos na indústria automotiva vem sendo gradualmente executada ao longo das últimas décadas, tendo se intensificado o ritmo de substituição nos últimos 20 anos. As crises do petróleo de 1973 e 1979 trouxeram a consciência para o problema da escassez e da vulnerabilidade do uso de materiais provenientes de fontes não-renováveis. Superados os limites tecnológicos, com o surgimento dos polímeros de alto desempenho, os plásticos passaram a fazer parte essencial dos automóveis.

Considerando-se o volume dos materiais, empregam-se mais polímeros na construção de um carro do que metal. Quanto à evolução da aplicação, nos anos 70 usavam-se 30 quilos de materiais poliméricos por veículo; no final da década de 1990 esse número passou para 180 quilos e estima-se que ultrapasse 200 quilos num futuro próximo. A disponibilidade do fornecimento de matérias-primas por parte da indústria de polímeros para o setor automotivo é a principal problemática.

Para ilustração do caso, o veículo em questão neste trabalho tem a composição de materiais conforme mostrada na Tabela 3:

Tabela 3 – Composição de materiais do veículo em questão

| <b>MATERIAL</b>         | <b>PESO (Kg)</b> | <b>%</b>   |
|-------------------------|------------------|------------|
| Aço/ferro total         | 696              | 64,0       |
| Plásticos               | 174              | 16,0       |
| Petróleo, óleo, graxa   | 58               | 5,3        |
| Borracha                | 44               | 4,0        |
| Vidro                   | 34               | 3,1        |
| Ligas leves             | 27               | 2,5        |
| Metais não-ferrosos     | 17               | 1,6        |
| Condutores elétricos    | 14               | 1,3        |
| Materiais de isolamento | 12               | 1,1        |
| Tintas e vernizes       | 10               | 0,9        |
| Diversos                | 2                | 0,2        |
| <b>TOTAL</b>            | <b>1088</b>      | <b>100</b> |

FONTE: Fabricante do veículo.

As principais vantagens que os materiais poliméricos apresentam são:

- A possibilidade de injeção de peças complexas com alto nível de produção e qualidade;
- A redução do peso do veículo com conseqüente economia de combustível;
- A resistência à corrosão.

A classificação dos polímeros, segundo Herais (2003), pode ser feita de acordo com suas propriedades. Os polímeros de uso geral ou *commodities* representam os produzidos em grande escala, não têm diferenciação e são utilizados em grandes quantidades. Os polímeros de uso específico ou *quasi-commodities* são também produzidos em grandes escalas, apresentam desempenhos diferenciados e propriedades ideais para determinadas aplicações. Os polímeros de alto desempenho ou *especialidades*, como o próprio nome diz, apresentam alto desempenho, são específicos, com propriedades bem definidas e incomuns, possuem alto valor agregado e são produzidos em escala de pequeno porte.

Esta classificação não é a única possível, pois polímeros modificados ou em misturas com outros polímeros podem apresentar propriedades que os habilitem a substituir polímeros de uso específico (HEMAIS, 2003).

A instalação dos três pólos petroquímicos no Brasil a partir da década de 1970, o de São Paulo em 1972, o de Camaçari (BA) em 1977 e o de Triunfo (RS) em 1982, permitiu o desenvolvimento da indústria de polímeros no Brasil. Antes disto, unidades isoladas produziam polímeros em quantidades inexpressivas na composição do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Os pólos foram instalados na onda da substituição de importações, com participação acionária de 1/3 pertencente à Petroquisa, 1/3 pertencente à iniciativa privada nacional e outro 1/3 pertencente a uma empresa estrangeira, geralmente a detentora da tecnologia a ser empregada.

A privatização das empresas na década de 1990 e a queda dramática das taxas de importação de produtos poliméricos mudaram bastante o perfil dessa indústria. Hoje, a indústria brasileira pode ser considerada um grande produtor de *commodities*, com tecnologias já bem estabelecidas de diversas fontes, com ciclos completamente dominados e em fase de maturação. As

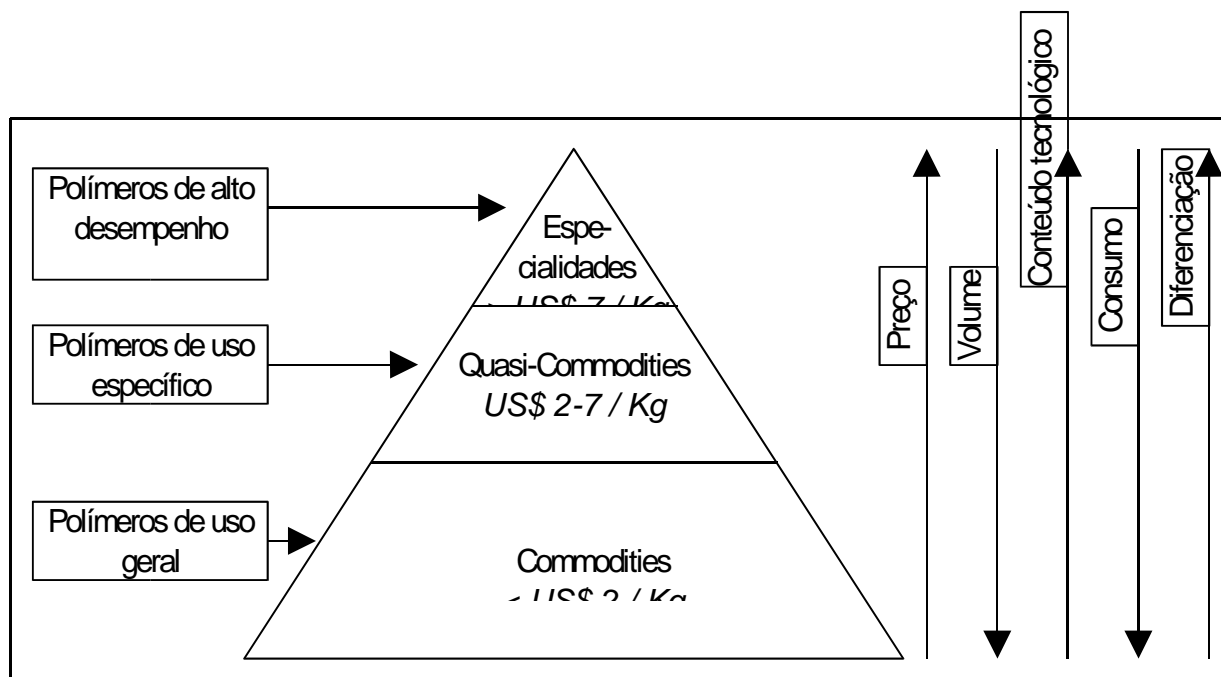
empresas detêm o controle de todo o processo de produção, tendo algumas delas desenvolvido *grades* específicas e efetuado os desgastamentos da produção.

Conforme Hemais (2003), produz-se no Brasil além das *commodities* alguns *quasi-commodities* como o PET (Poli(tereftalato de etileno)), poliuretanos, poliamidas e policarbonato, por exemplo. Para estes, as plantas existentes no Brasil possuem capacidades instaladas bem abaixo das similares internacionais, o que pode dificultar a competição global. Como únicas plantas na América do Sul, contudo, alcançam um status importante, sendo fornecedores tradicionais, com reputação firmada entre os consumidores.

Devido à grande aceitação pelo mercado de embalagens de bebidas fabricadas em PET, o Brasil produz a maior quantidade deste polímero no *grade* garrafa, sendo produzido também diferentes *grades* para outras aplicações como fibras, por exemplo, mas em menor volume do que o *grade* garrafa.

Por outro lado, segundo Hemais (2003), polímeros de alto desempenho são disponíveis no Brasil apenas através de importação direta dos grandes produtores internacionais. O fato das quantidades consumidas pelo país serem baixas pode justificar a falta de produção local, pois isto representa pesados investimentos e escala de produção mínima, o que é muito maior do que as necessidades de consumo do país. Temos disponível no Brasil apenas a prestação de serviço de tingimento e/ou aditivação desses polímeros. Grandes produtores estrangeiros, para atender aos seus clientes mundiais que possuem fábricas no Brasil, sem querer investir em plantas próprias, mantêm no país essas atividades de prestação de serviço, importando o polímero base. A figura 3 ilustra a grande diversidade de materiais poliméricos disponíveis.

Figura 3 – Classificação dos polímeros



FONTE:HEMAIS, C. A. *Polímeros e a indústria automobilística*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 13, nr. 2, p. 107-114, 2003.

Neste aspecto particular a indústria automotiva brasileira merece destaque. Por produzir “carros mundiais”, necessita padronizar sua produção e exige de seus fornecedores os mesmos materiais utilizados nas suas fábricas fora do Brasil.

Os polímeros têm demonstrado um alto grau de confiabilidade e muitas vantagens sobre os materiais tradicionais. Além de maior flexibilidade de projeto e economia na produção, sua baixa densidade é essencial para a redução do consumo de combustíveis. Aproximadamente, para 100 Kg de polímeros empregados em um veículo, 200 a 300 Kg de outros materiais deixam de ser empregados, refletindo no peso final do carro. Desta forma, estimando-se a vida útil de um veículo em 150.000 quilômetros, pode-se economizar 750 litros de combustível devido ao uso de plásticos (HEMAIS, 2003).

De uma forma geral, a principal vantagem do uso de polímeros na indústria automotiva é a economia, tanto de combustível quanto de investimentos em produção. Existe ainda a possibilidade de sofisticação de projeto, o uso de formas e soluções menos tradicionais aliado ao aumento da segurança (JAMBORE BEYER, 1997).

Existe uma tendência na indústria automotiva brasileira de substituição de peças fabricadas com polímeros de alto desempenho por similares feitas com materiais disponíveis localmente, mais baratas e com características similares.

Este é um trabalho que vem ganhando força ao longo dos últimos anos, quando a indústria automotiva, vendo os volumes de vendas caírem ano após ano, tem buscado alternativas cada vez mais baratas, visando manter o mesmo nível de qualidade com custos menores, tornando-se também menos dependente das flutuações de câmbio, devido à importação de insumos e tecnologias que ainda não são completamente dominadas pelos fornecedores locais. As parcerias firmadas entre fornecedores de polímeros e os transformadores têm alimentado o desenvolvimento local de novos produtos, baseado em materiais disponíveis como matéria-prima local, com perfis de aplicação similares aos produtos fabricados com especialidades importadas, mas com muito menos risco de ruptura de fornecimento devido aos problemas inerentes ao processo de importação.

Devido à exigência crescente do mercado consumidor, o nível de qualidade dos produtos desenvolvidos localmente em substituição ao uso de insumos importados não pode ser sacrificado. Isto é devido, em grande parte, à exigência crescente do mercado consumidor, que entre outras razões é função da feroz concorrência instalada no setor desde 1997, com a instalação de fábricas de 12 novas marcas de carros no país. Portanto, um mesmo nível de eficiência é requerido, com menores custos, maior produtividade, menores investimentos em estoque e tecnologias complexas, além de maior satisfação do cliente.



Ao longo dos anos, os consumidores tornaram-se mais exigentes em relação aos produtos que adquirem. O mercado demanda não só alto desempenho, como também confiabilidade, segurança, conforto, economia, estilo, preço competitivo e, cada vez mais, respeito ao meio-ambiente. Somente os polímeros podem responder aos desafios destas demandas conflitantes, relatam Jambor e Beyer (1997). A crescente personalização do veículo, que é a colocação de acessórios visando atender ao gosto particular de cada consumidor, faz crer que em pouco tempo a diversidade será a regra e somente a versatilidade dos plásticos permitirá construir diferentes carros a partir do mesmo chassi. No Quadro 1 lista-se os principais polímeros empregados pela indústria automobilística.

Quadro 1 – Principais polímeros usados na indústria automotiva

| <b>Polímeros</b>                                  | <b>Fabricantes<br/>brasileiros</b>                   | <b>Emprego</b>   |
|---|--|--|
| Poliétileno de alta densidade (HDPE)              | Braskem, Ipiranga, Políteno, Solvay                  | <i>Canister</i> , caixa do triângulo de emergência, proteção de caixas de rodas, dutos e tanque de combustível.  |
| Polipropileno (PP) e composições                  | Borealis, Braskem, Branco/Dow, Ipiranga, Polibrasil. | Caixa de baterias, caixa de ar condicionado, caixa de ferramentas, carcaça do cinto de segurança, carcaça de retrovisores externos, calotas, carpetes, capa de amortecedores, manoplas dos bancos, corpo do filtro de ar, depósito de expansão da água de arrefecimento, depósito de fluido de freios, frisos laterais, painéis de portas, painel de instrumentos, pára-choques, porta-luvas, revestimento da coluna de direção etc. |
| Poli (óxido de metileno) (POM) e seus copolímeros | Não fabricado no Brasil                              | Guia dos vidros de portas, manivela de levantamento dos vidros, limpadores de pára-brisas, cintos de segurança, espelhos retrovisores, suporte de espelho retrovisor, fechaduras, carcaça do filtro de combustível, componentes da bomba de combustível, gargalo de alimentação do combustível, alavancas e manoplas, sistema de freios, transmissão, engrenagens do sistema de embreagem etc.                                       |

| <b>Polímeros</b>   | <b>Fabricantes<br/>brasileiros</b> | <b>Emprego</b>   |
|--|------------------------------------|--|
| Polímeros fluorados,<br>Politetrafluoroetileno<br>(PTFE) e suas<br>composições | DuPont(*)                          | Bomba de combustível, elemento deslizante do amortecedor e do freio, guia do pistão do amortecedor, indicador de desgaste das pastilhas de freio   |
| Poli (tereftalato de<br>butileno) (PBT)  | GE (*), Rhodia                     | Ancoragem dos retrovisores externos, calota, carcaça da bomba d'água do limpador de pára-brisas, carcaça de faróis, cinzeiros, conectores, caixa de fusíveis, grades, palhetas de limpador de pára-brisas etc. |
| Polímeros de cristal<br>líquido (LCP)  | Não fabricado no<br>Brasil         | Retrovisores externos, tampa do <i>airbag</i> , conectores, suporte de bobina.   |
| Poli (sulfeto de fenileno)<br>(PPS)  | Não fabricado no<br>Brasil         | Carcaça de faróis, válvula do filtro de ar, suporte de bobina.   |
| Polycarbonato (PC)   | GE (*) e Polycarbonato             | Faróis, lanternas e painel de instrumentos.  |
| Poliuretano (PU)   | Basf, Bayer, Resana                | Pára-choques, espumas de bancos, coxins, suporte do motor.   |
| Poliâmida (PA)   | Mazzaferro, Rhodia                 | Dutos de captação de ar, engrenagens, conectores.  |
| Poli (metacrilato de<br>metila) (PMMA)   | Metacryl                           | Fibras óticas, lanternas.  |
| Copoli (estireno-<br>butadieno-acrilonitrila)<br>(ABS)                         | GE (*), Rhodia                     | Grades, calotas, painel de instrumentos, carcaça de lanternas.   |
| Copoli (estireno-<br>acrilonitrila) (SAN)                                      | Bayer                              | Grades de ventilação.  |
| Poli (cloreto de vinila)<br>(PVC)  | Braskem, Solvay                    | Filtros de ar e de óleo, revestimentos de banco, painéis interiores, revestimento de fios e cabos elétricos  |
| Poli (óxido de metileno)/<br>poliâmida (Noryl GTX)                             | GE (*)                             | Pára-lamas.  |
| Poli (tereftalato de<br>butileno) (PBT)/<br>Polycarbonato (PC)                 | GE (*)                             | Painel de instrumentos, pára-choques, painel lateral externo, ponteira do pára-choque, <i>spoilers</i> .   |
| Poli (tereftalato de<br>etileno) (PET)   | Braskem, Fibra<br>Nordeste, Rhodia | Carcaça de bombas, limpador de pára-brisas, componentes elétricos.   |

FONTE: HEMAIS, C. A. Polímeros e a Indústria Automobilística. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, nr. 2, p. 107-114, 2003.

A indústria automobilística tem colocado crescentes exigências quanto aos materiais que emprega e encontra no Brasil grandes fabricantes de polímeros para usos gerais. Além disto, a indústria de polímeros do Brasil é, de longe, a mais importante da América do Sul, sendo assim um destacado fornecedor para montadoras de automóveis em outros países latinos, especialmente a Argentina. Contudo, o Brasil é o maior cliente na área automotiva da América do Sul da indústria de polímeros.

Dados os primeiros passos na produção local de polímeros, a seqüência natural é focar na correta seleção dos materiais a serem empregados para a produção dos componentes automotivos.

## 4.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS

De acordo com Sydenstricker<sup>1</sup>, há vários tipos de seletores de materiais, os mais comumente empregados são baseados nas propriedades físico-químicas. A seleção e a substituição de materiais para aplicações de engenharia são tarefas rotineiras sujeitas a mais de um critério de escolha para a seleção do material mais adequado. Os projetistas e engenheiros envolvidos com estes processos precisam considerar um grande número de variáveis de seleção. Normalmente aplicam o método de tentativa e erro ou baseiam suas escolhas em suas experiências prévias.

Há duas razões principais para o uso de seletores de materiais, segundo Waterman e Ashby (1997):

- a) Selecionar e especificar materiais e processos de manufatura para produtos novos;
- b) Avaliar materiais e processos de manufatura alternativos para produtos existentes.

---

<sup>1</sup> SYDENSTRICKER, T. Informações sobre Seletores de Materiais. UFPR, Curitiba, 2003. Anotações de aula da disciplina TM-792 "Seletores de Materiais".

Shercliff e Lovatt (2001) acrescentam que a abordagem mais adequada à seleção de materiais durante a fase de projeto depende do contexto. Este, tal como assumido pelos autores, pode ser dividido em conceitual ou preliminar, intermediário e final ou detalhes.

Nos estágios preliminares do projeto, segundo Shercliff e Lovatt (2001), quando poucos detalhes de projeto e de *design* foram fixados e os processos ainda estão totalmente receptivos às considerações, a abertura a todas as opções é a abordagem mais recomendada. Nos estágios finais, quando praticamente todos os detalhes e considerações já foram fechados, considera-se apenas a otimização dos detalhes. Os autores sustentam que, nestes casos, o uso de programas de computador com base no conhecimento é uma ferramenta com importância muito grande. Ao aplicar-se estas abordagens nos estágios intermediários de design, quando algumas variáveis foram fixadas mas ainda existem possibilidades paralelas, estas abordagens apresentam deficiências, tais como:

- a) As ferramentas de seleção não são suficientemente capazes de distinguir materiais ou processos de maneira satisfatória;
- b) As ferramentas de otimização podem precisar de muito tempo para estudar todas as possibilidades;
- c) Os dados podem ser ainda muito poucos para apresentar uma possibilidade realista de prototipagem física (devido ao custo).

Assim, sustentam Shercliff e Lovatt (2001), diferentes abordagens devem ser consideradas nas diferentes fases do projeto.

Por se tratar de sistemas complexos, o processo de seleção esbarra muitas vezes na necessidade de uso de ferramentas altamente técnicas e especializadas que exigem algum domínio, habilidade ou conhecimento específico. No caso de seletores de materiais informatizados, o uso do software pode exigir do usuário alguma tomada de decisão, que pode ter variações de resultados

dependentes da maior ou menor habilidade do usuário com sistemas informatizados. A definição de alguns termos e sua abrangência é, portanto, relevante. Um dos principais é a usabilidade do sistema.

O termo *usabilidade* começou a ser empregado no início da década de 1980 em substituição à expressão inglesa *user-friendly* e tornou-se um assunto de grande relevância no campo da interação homem-máquina, com um grande número de instituições voltadas ao seu estudo<sup>2</sup>. A interação do usuário com um seletor de materiais também está sujeita à conformidade com este termo.

A primeira definição oficial do termo usabilidade foi apresentada na norma ISO/IEC 9126 sobre qualidade de software (INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANISATION, 2003). Segundo Dias (2002), sua abordagem é orientada ao produto e ao usuário, pois considera a usabilidade como “um conjunto de atributos de *software* relacionado ao esforço necessário para o seu uso e para o julgamento individual de tal uso por determinado conjunto de usuários”.

Inicialmente voltado à interação homem-*software*, o conceito de usabilidade se expandiu e hoje é aplicado nos mais diversos tipos de produtos e sistemas. Seu foco enfatiza o ponto de vista do usuário e seu contexto. Em 1998, a norma ISO/IEC 9126 foi substituída pela norma ISO 9241-11 (INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANISATION, 2003), que define usabilidade como “a capacidade de um produto ser usado por usuários específicos com eficácia, eficiência e satisfação em contexto específico de uso”.

Outros autores conceituam a usabilidade, dentre os quais Macleod (1994), que a classifica como a “qualidade de uso ou a qualidade de interação entre usuário e sistema”, numa evidência de

---

<sup>2</sup> IBM EASE OF USE, DESIGN SITE. Disponível em <<http://www3.ibm.com/ibm/essay>> Acesso em Jul 2004.

USABILITY PROFESSIONALS ASSOCIATION. Disponível em <<http://www.upa.org>> Acesso em Jul 2003.

USABILITY FIRST. Disponível em <<http://www.usabilityfirst.com>> Acesso em 16 Jul 2003.

USE IT (Jakob Nielsen). Disponível em <<http://useit.com>> Acesso em 16 Jul 2003.

dependência entre as características do usuário e do produto ou sistema com o qual ele interage. Para Nielsen (2003), a usabilidade é “uma medida da qualidade da experiência do usuário ao interagir com alguma coisa – um *site* na Internet, um aplicativo de *software* ou outro dispositivo operável de alguma forma pelo usuário”.

Nielsen (2003) destaca cinco atributos da usabilidade:

- a) Facilidade de aprendizado: a rapidez com que o usuário explora o sistema e realiza as tarefas necessárias;
- b) Eficiência de uso: após aprender a interagir com o sistema, o usuário atinge altos níveis de produtividade na realização das tarefas;
- c) Facilidade de memorização: após um certo período, o usuário eventual é capaz de retomar ao sistema e realizar suas tarefas sem a necessidade de reaprender como interagir com ele;
- d) Baixa taxa de erros: as tarefas são executadas pelo usuário sem maiores transtornos, sendo este capaz de recuperar possíveis erros sem maiores incômodos, caso ocorram;
- e) Satisfação subjetiva: o usuário considera agradável a interação com o sistema e se sente satisfeito com a experiência.

De acordo com Trethewey et al. (1998), no passado, muitos erros foram cometidos na seleção de materiais para uma aplicação específica. Sistemas que permitam seleção adequada de materiais ganham importância cada vez maior, especialmente quando o campo de aplicação é vasto, o problema é complexo, o contexto de operação é variável ou o meio-ambiente é agressivo. O problema deve ser estabelecido num contexto com uma descrição mais abrangente de desempenho de materiais, no qual o primeiro estágio é a seleção de materiais e o último é a análise de falhas. A seleção do material engloba os dados técnicos, físicos e químicos pertinentes ao que se necessita.

Para Griskey (1995), o diagnóstico das falhas em materiais está baseado nos padrões e definições estabelecidos por normas técnicas. Há sete categorias de falhas mecânicas:

- a) Fratura,
- b) Deformação,
- c) Relaxamento,
- d) Erosão,
- e) Fadiga,
- f) Danos superficiais e
- g) Corrosão.

Definindo-se precisamente os atributos do sistema que apresenta um destes modos de falha, estrutura-se o conhecimento nos bancos de dados e determina-se o que se conhece, o que não se conhece e o que necessita ser conhecido.

A forma como um usuário seleciona um material para uma determinada aplicação é um assunto complexo e muitos têm tentado transformá-lo em um algoritmo de metodologia computadorizada<sup>3</sup>. Como muitos dos processos de seleção são geralmente conduzidos tomando-se como base as propriedades dos materiais, muitas ações requerem uma otimização de mais de uma propriedade.

Para funcionar adequadamente<sup>4</sup> e atender ao trabalho de predição tanto de materiais quanto de falhas, o conhecimento sobre o desempenho de materiais deverá ser traduzido em um modelo genérico que, formulado com a estruturação das informações necessárias ao dimensionamento de

<sup>3</sup> Disponível em <<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <[http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp)> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

Disponível em <<http://www.geoplastics.com>> Acesso em Jul/03.

Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <[http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

<sup>4</sup> SYDENSTRICKER, T. Informações sobre Seletores de Materiais. UFPR, Curitiba, 2003. Anotações de aula da disciplina TM-792 "Seletores de Materiais".

materiais e processos, seja aceitável para a lógica humana. Desta forma, programas de computador e bancos de dados ampliam as capacidades e simplificam as análises de *design*, aceleram avaliações como as análises de *stress*, fornecem análises mais completas dos materiais, prevêm encolhimento e empenamento, além de serem valiosas ferramentas sob outros aspectos.

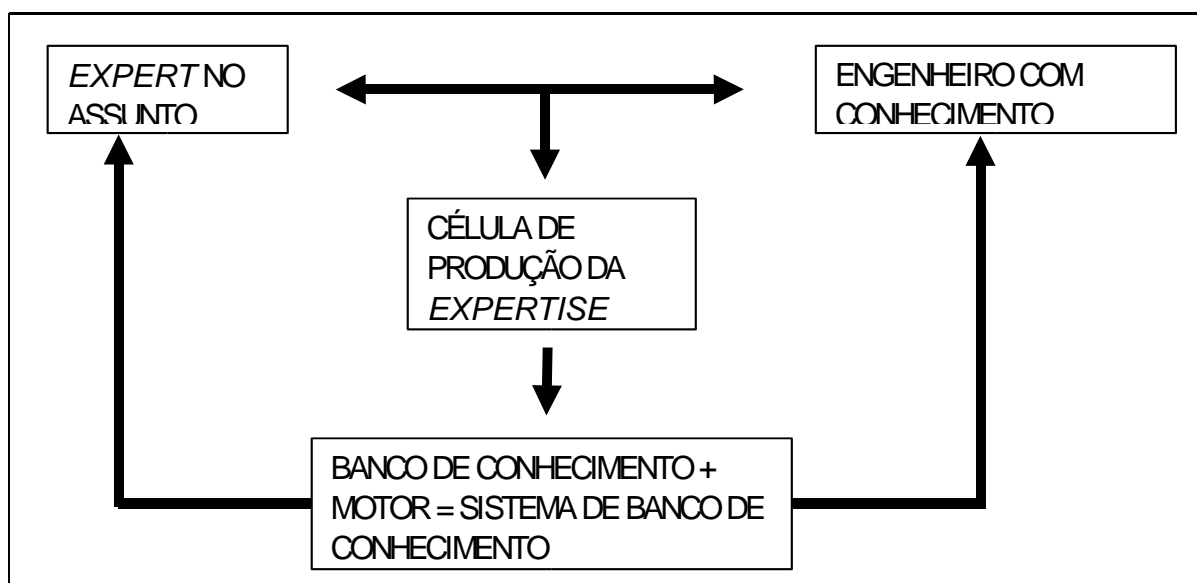
Otimizar a seleção de materiais simplesmente tendo-se as fichas técnicas dos mesmos tornou-se impraticável. Bancos de dados e seletores de materiais comerciais são acessíveis de qualquer lugar, disponíveis a partir de fabricantes de polímeros ou de instituições, muito embora a seleção a partir desses *sites* não seja, para casos específicos, a melhor opção. Pode-se, no entanto, usar com bastante segurança as indicações propostas e analisar o caso particular em que se esteja trabalhando. É muito comum partir-se de alguns pré-requisitos de projeto e proceder a busca nestas fontes, chegando-se a resultados muito discrepantes com as reais necessidades de projeto. O próprio uso destes seletores e bancos de dados por si só pressupõe algum conhecimento técnico da área de polímeros. Assim, o julgamento final sobre a aplicabilidade ao projeto em questão dos resultados obtidos permanece subordinado ao julgamento do projetista.

Trethewey et al. (1998) afirmam que um banco de conhecimento é a combinação de um banco de dados e um mecanismo de inferência (Figura 4) e propõem uma distinção entre os bancos de dados e os bancos de conhecimento utilizados para projetar-se materiais. No caso do conhecimento, os autores indicam que o uso deste termo implica um nível maior de informação quando comparado com dados, que em geral consistem apenas de uma informação numérica isolada.

O conhecimento seria expresso em forma de linguagem, envolvendo regras e relações que correlacionam os dados. Assim, em bancos de conhecimento a estrutura é mais importante que o conteúdo, sendo que sempre necessitam de dados para tornarem-se úteis.



Figura 4 – Diagrama da construção do sistema de banco de conhecimento



FONTE: Adaptada de TRETHEWEY, K.R. et al. Development of a knowledgebased system for materials management *Materials and Design*, v. 19, p. 39-56, 1998.

Devido às múltiplas plataformas de dados possíveis de serem acessadas sobre um tema, bem como ao numeroso e vasto campo de dados disponível e crescente com a descoberta de novos materiais, as principais características necessárias a um tal sistema são sua capacidade de atualização e compatibilidade, traduzidas em uma enorme flexibilidade (TRETHEWEY ET AL., 1988).

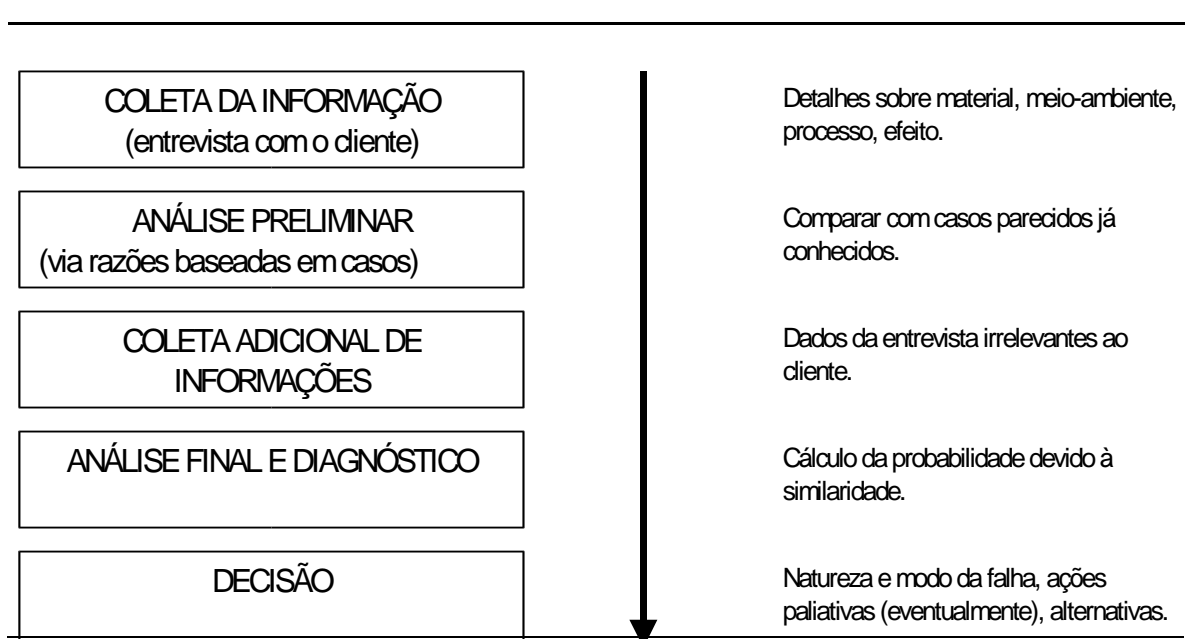
O uso de linguagens de programação orientadas a objeto, segundo Trethewey et al. (1998), trouxe ferramentas com maior usabilidade na criação de códigos potentes e flexíveis de bancos de conhecimento. Para os autores, esses bancos não só resgatam o conhecimento existente sobre um assunto, mas também planejam como isto acontecerá através do motor de inferência. Uma técnica que pode ser adotada é a de “razões baseadas em casos”, que simula o comportamento de um *expert* ao analisar um caso de falha. O *expert*, ao conduzir uma entrevista com o cliente, busca detalhes sobre o material empregado, o meio ambiente em que o produto atua, as condições de operação, entre outras. Frequentemente amplia suas perguntas, incluindo outros aspectos:

- Ocorreram usos além das condições operacionais prescritas?

- Qual a frequência de falhas em outros lotes ou sistemas equivalentes?

Desta forma, um *expert* humano elucida fatores que o cliente não considerava relevantes, como a interação de um operador, usuário ou manutenção num estágio anterior na história de um sistema. Complementamente, um sistema remoto pode interagir e não ser considerado para a solução do problema. De uma forma esquemática, a Figura 5 mostra como pode ser feita a análise de falhas em um estudo de caso.

Figura5 – Análise da falha baseada em casos



FONTE: Adaptada de TRETHEWEY, K.R. et al. Development of a knowledgebased system for materials management *Materials and Design*, v. 19, p. 39-56, 1998.

Desta maneira, um seletor de materiais deve ser capaz de executar as etapas designadas na Figura6.

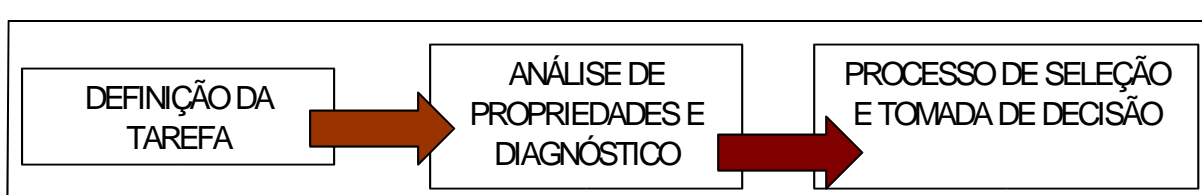


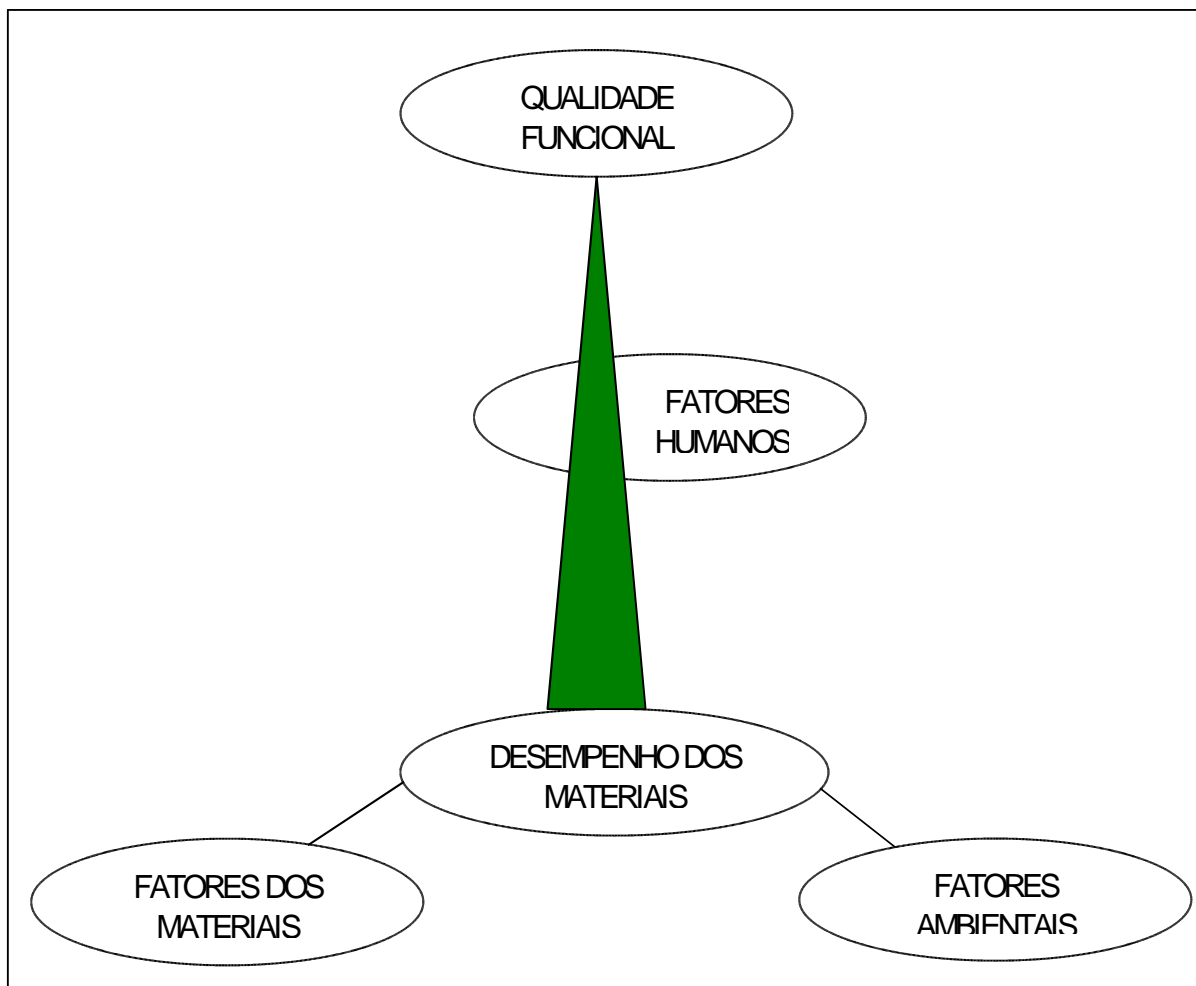
Figura6 – Etapas realizadas por um seletor de materiais

FONTE: Adaptada de TRETHEWEY, K.R. et al. Development of a knowledgebased system for materials management *Materials and Design*, v. 19, p. 39-56, 1998.

O desempenho de um material é uma função dependente do tempo envolvendo a interação de materiais com o meio-ambiente. Quando se adiciona a interação humana, usa-se o termo gerenciamento de materiais. A qualidade funcional de um sistema é uma declaração da probabilidade de um sistema cumprir a missão para a qual foi desenhado (TRETHEWEY ET AL. (1998)).

A busca por uma árvore ou estrutura do conhecimento (Figura 7), que revele os conceitos apresentados, nos leva à seguinte construção:

Figura 7: Estrutura ou árvore de conhecimento para obter a qualidade funcional de um sistema



FONTE: Adaptada de TRETHEWEY, K.R. et al. Development of a knowledgebased system for materials management *Materials and Design*, v. 19, p. 39-56, 1998.

Assim, um seletor de materiais que seja amigável ao usuário comum, sem grandes conhecimentos técnicos do comportamento de polímeros, e que apresente uma estrutura facilmente assimilável pelo usuário, pode ser uma ferramenta de grande auxílio. Para tanto, conduziu-se uma busca na Internet aos *sítes* que propiciam seleção de materiais, fazendo-se uma análise crítica de suas funções, vantagens e deficiências.

Quanto aos materiais plásticos disponíveis para aplicação industrial, conforme Hernais (2003), contam-se mais de 15 mil tipos comerciais diferentes, incluindo-se misturas, compósitos e polímeros puros. Suas propriedades podem ser agrupadas muitas vezes em classes de polímeros com características parecidas, mas o trabalho de seleção não é diminuído mesmo assim. Para cada aplicação pode haver mais de uma possibilidade de material aplicável e a finalidade do seletor de materiais é conter todas as informações possíveis sobre os materiais agrupadas numa só ferramenta, que possibilite a rápida e fácil consulta para posterior análise quanto à aplicabilidade da(s) escolha(s) pelo projetista.

Para efeitos deste trabalho, consultas aos principais *sites* da Internet<sup>5</sup> que disponibilizam a seleção de materiais plásticos foram efetuadas. Os resultados desta busca serão discutidos no capítulo de resultados obtidos.

#### 4.3 MATERIAIS POLIMÉRICOS PARA INJEÇÃO

Rosato e Rosato (1995) citam que, em média, metade dos custos no processamento de polímeros é devido às matérias-primas e serviços. É importante, por isto, a compra de materiais a preços favoráveis, com nível de qualidade constante, que sejam fornecidos pontualmente, bem como o uso da menor quantidade possível (sem injetar desnecessariamente excesso de material numa cavidade, nem submeter o molde a tolerâncias muito restritas). Uma economia substancial pode ser feita se for conduzida uma escolha criteriosa da forma como o material é fornecido.

---

<sup>5</sup> Disponível em <<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <[http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp)> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

Disponível em <<http://www.geoplastics.com>> Acesso em Jul/03.

Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <[http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

#### 4.4 PROJETO DOS PRODUTOS

As principais vantagens da injeção incluem a habilidade de produzir partes moldadas acabadas, multifuncionais ou complexas, de forma repetitiva, numa única operação, altamente automatizada.

Para Rosato e Rosato (1995), muitas partes de um molde de injeção influenciam o desempenho final, as dimensões e outras características do produto. O projeto de um molde para um material específico pode não ser adequado para outro material. Estes dois materiais podem, por exemplo, ter o mesmo polímero, mas usar diferentes proporções de aditivos e reforços. É importante ressaltar que esta situação não é nada diferente do que aquela para outros materiais, como aço, cerâmica, alumínio, entre outros, e que o desenho de um produto plástico não vai apontar muitos dos detalhes necessários à confecção do molde de injeção. Em muitas situações, estes detalhes podem ser modificados pelo projetista para minimizar os efeitos indesejados nas propriedades da peça. Contudo, ao contrário dos outros materiais, polímeros são viscoelásticos e, assim, a resposta às solicitações externas depende do tempo e da temperatura.

Rosato e Rosato (1995) revelam que os polímeros vêm sendo empregados em projetos de muitos produtos diferentes há mais de cem anos. Eles vêm sendo empregados com sucesso em diversos segmentos da indústria e trazendo significativas reduções de custos quando comparados com outros materiais. Na indústria automobilística, por exemplo, na confecção de peças de acabamento externo, como pára-choques, pára-lamas ou peças menores de geometria complexa, como carcaça de retrovisores ou portinhola do tanque de combustível.

---

<sup>6</sup> SYDENSTRICKER, T. Informações sobre Polímeros. UFPR, Curitiba, 2002. Anotações de aula da disciplina TM-716 "Tecnologia de polímeros".

Rosato e Rosato (1995) comentam que o trabalho de projetar produtos empregando-se polímeros está se tornando incrivelmente mais complexo, pois muitos novos materiais estão surgindo. Há mais de quinze mil diferentes polímeros, porém somente umas poucas centenas destes são empregados em grandes quantidades. A principal consideração a ser feita quando se projeta um produto é analisar com coerência o que se dispõe para desenvolver um processo lógico de seleção que atenda às especificações, o que geralmente está intimamente ligado a fatores de custo.

O processo de moldagem usado para converter o polímero básico no produto pode definir o desempenho estrutural do produto final. Entre outros efeitos advindos do processamento ou da formulação do plástico, a orientação da estrutura molecular dos termoplásticos pode fortalecer o produto na direção do alinhamento, ao passo que a adição de aditivos, a oxidação e a cristalização durante o processamento podem fragilizar ou ductilizar o material.

Segundo Rosato e Rosato (1995), os critérios de projeto não são geralmente estabelecidos em especificações normativas, uma imensa gama de diferentes materiais e suas variantes está disponível, mas apenas uns poucos compostos extraídos de uma grande variedade de classes genéricas de plásticos foram estruturalmente caracterizados para cargas contínuas. Assim, muito da indicação de um material para uma aplicação particular ainda recai sobre a experiência do projetista ou do fabricante do material, no acúmulo de informações sobre o comportamento de materiais para dadas aplicações.

No estabelecimento das tolerâncias aceitáveis para o produto final, usam-se normalmente limites máximo e mínimo, fundamentados no processo de fabricação a ser empregado. Além disto, cada resina tem seus próprios limites que dependem da estrutura química e das características de fusão. A otimização das condições de processamento é essencial para a redução de custos e qualidade máxima dos produtos.

Outra influência nas dimensões e tolerâncias envolve o coeficiente de expansão ou contração térmica linear ( $\alpha$ ). O valor deste coeficiente normalmente deve ser determinado na temperatura de operação da peça, de modo que é importante incluir nas especificações de projeto as condições de temperatura operacionais de forma a selecionar o plástico adequado ao trabalho. Os polímeros apresentam vários valores possíveis deste coeficiente, inclusive os de efeito reverso, ou seja, sob aquecimento alguns materiais poliméricos se contraem ao invés de expandir, como seria de se esperar. Normalmente, a uma dada temperatura, os termoplásticos apresentam variações maiores de  $\alpha$  que os metais. Este coeficiente é de grande importância quando materiais distintos, como um polímero diferente de outro ou um polímero com um metal precisam ser montados juntos. O parâmetro  $\alpha$  sofre influência do tipo de plástico ou de compósito, sua cristalinidade e orientação, sendo sempre menor para compósitos poliméricos em comparação à sua matriz.

Além da necessidade da consideração do coeficiente de expansão térmica dos plásticos, é importante também avaliar a cristalinidade dos polímeros. Macromoléculas amorfas contraem em torno de 0,5 a 1% enquanto que os polímeros semicristalinos podem contrair no molde até 4% (MANO, 1991).

As propriedades mecânicas de um polímero são de fundamental importância para o projeto de uma peça. O projetista tem de ajustar as propriedades mecânicas do material selecionado com as exigências de desempenho da aplicação, de forma a atingir um desenho otimizado da peça (TRETHERWEY ET AL., 1998). O desafio para o engenheiro familiarizado apenas com o projeto de peças metálicas é que as propriedades mecânicas de materiais poliméricos são muito mais dependentes de tempo e temperatura. Além disso, enquanto polímeros geralmente não são corroídos, suas propriedades são adversamente afetadas pelas condições ambientais, como radiação ultravioleta, umidade ou exposição a atmosferas agressivas (TRETHERWEY ET AL., 1998).



Para o projeto bem-sucedido com materiais poliméricos deve-se considerar não apenas as propriedades mecânicas do curto prazo, as listadas nas literaturas técnicas fornecidas pelo fabricante do material, mas também o tempo de uso, a temperatura de trabalho e o comportamento do material no ambiente em que for empregado.

Muitos projetistas bem-sucedidos têm a capacidade de desenvolver produtos que são instantaneamente aceitos pelos compradores. Muitos novos produtos não são mais do que pequenas alterações em produtos já existentes; muitas companhias trilham o caminho do sucesso com pequenas mudanças contínuas. Esta é uma forma prática de “melhorar” a linha de produtos com mínimas alterações no processo de produção, a exceção de novos catálogos para o pessoal de vendas (CHRISTOPHER, 2003).

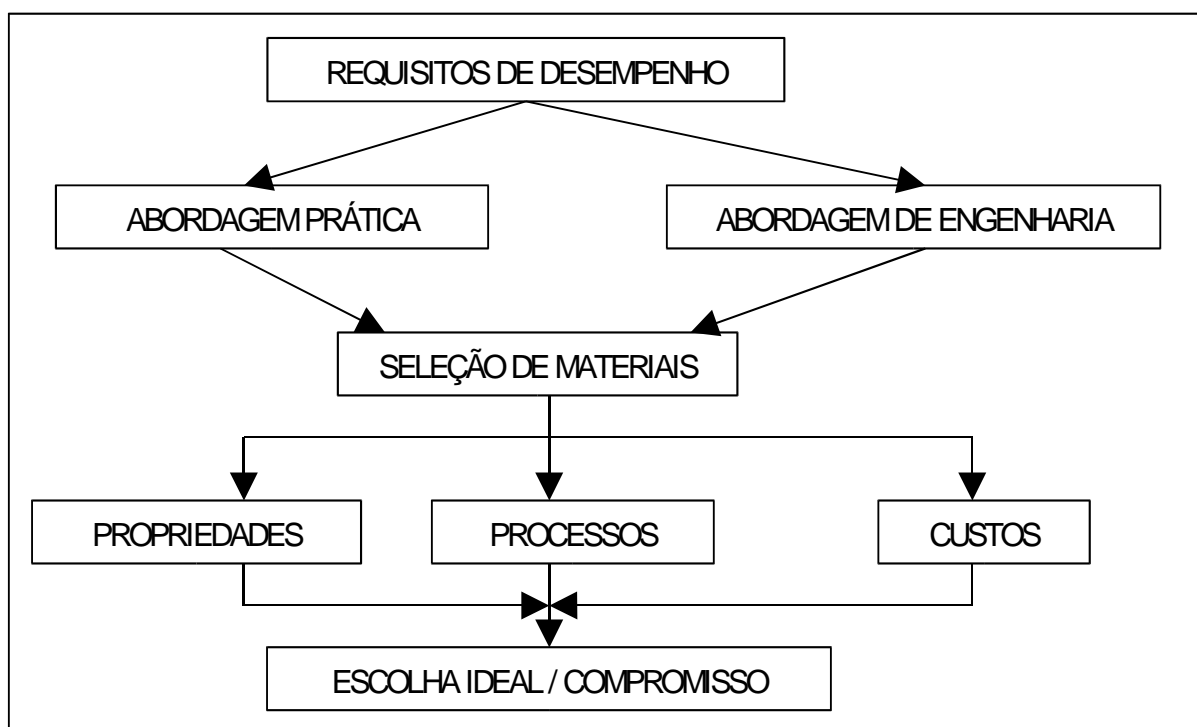
Mais freqüentemente com polímeros do que com outros materiais há a chance de otimizar o projeto de um produto focando na composição e na orientação do material, bem como na geometria estrutural. Especialmente com polímeros há uma importante relação entre forma, seleção de material (incluindo orientação) e de manufatura. Esta relação é muito distinta da maioria dos materiais, para os quais o projetista normalmente precisa limitar-se a algumas formas pré-concebidas. Muitos produtos distintos podem ser fabricados com polímeros, desde os que suportam cargas elevadas, aos que operam em atmosferas agressivas, a aqueles que simplesmente fazem parte do acabamento externo de carros, como maçanetas de portas, carcaça de espelhos retrovisores externos ou portinhola da tampa do tanque de combustível, entre outras tantas aplicações.

O projeto de um produto é uma combinação do entendimento dos pontos de vista prático e teórico. Normalmente é um compromisso entre a estética do projetista, a produção eficiente e econômica do pessoal de produção e as propriedades de uso requeridas pelo usuário final.

O procedimento para projetar-se uma peça em polímero segue a mesma lógica que se aplica a qualquer outro projeto, como indica a Figura 8. Segundo Rosato e Rosato (1995), uma série de questões precisa ser respondida:

- Quais as propriedades finais para o produto ou peça (estética, estrutural, mecânica);
- Quantos itens podem ser projetados na peça para maior eficiência de custo;
- É possível combinar-se múltiplas partes numa parte maior?

Figura 8: Diagrama de Fluxo para estabelecimento do procedimento de seleção de material



FONTE: Adaptado de ROSATO, D. V.; ROSATO, D. V. *Injection Molding Handbook*. 2ª. ed. New York: Chapman & Hall, 1995.

As dimensões específicas que podem ser obtidas num produto acabado com base polimérica dependem essencialmente do comportamento e do controle do material polimérico, do processo de fabricação e, em muitos casos, da integração adequada entre material e processo. Devido às muitas variáveis dos polímeros, muitos projetistas insistem em considerar as tolerâncias dimensionais em

produtos à base de polímeros como imprevisíveis e não sujeitas a controle. Isto não é verdade, mas pode ser um problema bastante complexo. Se existissem informações de processo relevantes ou experiências documentadas, estas peças metálicas ou cerâmicas já atenderiam as especificações com a primeira peça produzida. O mesmo raciocínio é válido com polímeros.

O processo de desenvolvimento de um novo produto à base de polímeros poderia ser melhor gerenciado se houvesse uma interação maior entre as áreas de design, de engenharia e de desenvolvimento de ferramental, pois estas são etapas complementares na obtenção do produto final (ROSATO E ROSATO, 1995). Um designer com noções de requisitos de projeto de componentes tende a propor soluções para as formas complexas que projeta, auxiliando na execução de cálculos que viabilizem o projeto da peça e, conseqüentemente, o projeto do ferramental que será desenvolvido para a produção da mesma. O design integrado ao projeto tanto da peça quanto do ferramental é um dos principais fatores de redução do tempo de desenvolvimento de um produto, requerendo menos ajustes e alterações pós-concepção.

Para ser bem-sucedido no emprego de polímeros é necessário experiência com seu comportamento em fusão, seu comportamento fusão-fluxo durante o processamento e o controle de processo necessário para assegurar obter as dimensões requeridas, que podem ser atingidas num ciclo completo de operação. Baseando-se por isto no polímero a ser empregado e no equipamento disponível, pode-se chegar a algumas combinações que permitam atingir tolerâncias extremamente pequenas, ou de acordo com o que se projetou.

#### 4.5 O USO DE POLÍMEROS AFETANDO AS ESTRATÉGIAS DO NEGÓCIO

É uma constatação geral, na opinião de Bowersox e Closs (2001), o fato de que em algum tempo, um concorrente possa lançar um produto melhor no mercado, ou então venderá por menos um produto suspeitadamente similar ao que uma empresa comercializa. Os questionamentos aparecerão invariavelmente em forma de perguntas como: “por que eles têm menos defeitos que nós?” Ou “como conseguem fabricar este produto tão barato?” Ou, o pior de todos, “como eles descobriram que matérias-primas nós usamos?”.

A análise de polímeros dá todas as respostas a estas ou outras questões, de forma rápida, precisa e rotineira. Com algumas análises, sejam químicas, físicas ou de aplicação, pode-se determinar qual polímero se está utilizando e partir imediatamente para uma rota de produção segura, eficiente, correta e que produza os resultados esperados (BOWERSOXE CLOSS, 2001).

#### 4.6 A POLI(FTALAMIDA) (PPA)

De acordo com a literatura disponível de fabricantes<sup>7</sup>, a PPA foi primeiramente comercializada no início da década de 1990. A tecnologia de produção da PPA permite produzir tanto polímeros semicristalinos como amorfos. Os semicristalinos apresentam excelentes propriedades mecânicas, estabilidade dimensional marcante, desempenho a altas temperaturas e boas características de processamento. É uma categoria de polímeros desenvolvida para fazer a ponte custo-desempenho entre as resinas de engenharia de altos volumes e desempenho moderado com as especialidades termoplásticas de baixo volume e alto custo, tais como a poli-(éter-éter-cetona) (POLY(ETHER-ETHER-KETONE) (PEEK) DESIGN GUIDE).

<sup>7</sup> APERÇU SUR LES THERMOPLASTIQUES TECHNIQUES. Disponível em <<http://www.emsgrivory.com>> Acesso em Jul/03.  
POLY(ETHER-ETHER-KETONE) DESIGN GUIDE. Disponível em <<http://www.solvay.com>> Acesso em Jul/03.

Este grupo de resinas está disponível no mercado em uma vasta gama de compostos para atingir as necessidades específicas de várias indústrias, seja do ramo automotivo, elétrico e eletrônico, industrial, antifricção ou ferramenta e jardinagem. O produto possui um balanço de propriedades que o tornam ideal para muitas aplicações, o que contribui para aumentar sua aceitabilidade em um campo vasto de aplicações não-exploradas atualmente. A PPA pode ser processada por diferentes métodos, neste trabalho foca-se seu emprego na fabricação de peças, componentes e acessórios por injeção, especialmente voltados à indústria automotiva.

#### **4.6.1 A Química da PPA**

Esta resina está classificada no grupo da família química conhecida como poliamidas, que podem ser produzidas pela reação de um ácido orgânico bifuncional com uma amina bifuncional ou ainda através da autocondensação de um  $\omega$ -aminoácido ou uma lactama (POLYPHTHALAMIDE DESIGN GUIDE).

Poliamidas podem ser produzidas a partir de uma vasta gama de ácidos e aminas, sendo um número considerável delas comercialmente importantes. A convenção para sua nomenclatura usa o número de átomos de carbono presentes no monômero da amina primeiro, depois o número de carbonos do ácido (POLYPHTHALAMIDE DESIGN GUIDE). Para exemplificar, uma poliamida feita a partir da hexametilenodiamina e ácido dodecanóico será chamada poliamida 612 ou nylon 612.

Como emprego de um diácido aromático ao invés de um alifático, modifica-se a nomenclatura para refletir a forma isomérica do diácido aromático. Assim, o termo poliftalamida é usado para distinguir estes polímeros daqueles puramente sintetizados a partir de matérias-primas alifáticas. A

poliamida 6T produzida a partir da condensação da hexametilenodiamina e do ácido tereftálico vem há muito sendo reconhecida pelas suas excelentes propriedades de estabilidade dimensional, baixa absorção de umidade, alta resistência à tração e resistência ao calor. O principal problema que impede sua comercialização em grande escala é seu elevado ponto de fusão cristalino de 370 °C, acima da sua temperatura de decomposição térmica. Isto impede seu beneficiamento pelos métodos convencionais de processamento por fusão, como extrusão ou injeção. Além disto, seu ponto de fusão, entre outros fatores, complica o processo de polimerização (POLYPHITHALAMIDE DESIGN GUIDE).

Para poder empregarse esta poliamida em algumas aplicações é necessária uma modificação da tecnologia da poliamida 6T usando-se comonômeros, o que reduz seu ponto de fusão, e operando-se com altas velocidades de cristalização (POLYPHITHALAMIDE DESIGN GUIDE).

#### 4.6.2 Propriedades físicas da PPA

Termoplásticos são freqüentemente divididos em duas classes: amorfos e semicristalinos. Uma das grandes diferenças entre estas duas classes é a forma como suas propriedades mudam com mudanças na temperatura. Com uma elevação na temperatura, o módulo de elasticidade de polímeros amorfos geralmente diminui lentamente até que se atinja a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). A temperaturas acima de  $T_g$ , o módulo de elasticidade diminui rapidamente.

Com polímeros semicristalinos o módulo de elasticidade também diminui gradualmente com o aumento da temperatura. Na  $T_g$  ou próximo dela, o módulo de elasticidade diminui rapidamente para um valor mais baixo, mas ainda assim a um nível útil. Se a temperatura continua sendo aumentada, o módulo de elasticidade permanece neste nível ou próximo dele (o chamado platô cristalino), até que se

atinga a temperatura de fusão cristalina ( $T_m$ ). Atingida  $T_m$ , o módulo de elasticidade diminui novamente de forma rápida. Acima da temperatura de fusão, um polímero semicristalino funde, passando do estado sólido para o líquido.

Polímeros semicristalinos são geralmente empregados a temperaturas acima de suas  $T_g$ , mas abaixo de suas  $T_m$ , especialmente quando são modificados com fibra de vidro e/ou cargas minerais. No processamento de resinas semicristalinas o percentual de cristalinidade pode ser afetado pelas condições de processamento (POLYPHTHALAMIDE DESIGN GUIDE).

A capacidade térmica de um polímero semicristalino é definida em grande parte por duas temperaturas características, a de transição vítrea e a de fusão, pois são estas que indicam a faixa de temperaturas aonde o polímero apresenta alta rigidez (abaixo da  $T_g$ ), rigidez moderada (entre  $T_g$  e  $T_m$ ) ou nenhuma rigidez (acima de  $T_m$ ). Como a umidade relativa reduz a temperatura de transição vítrea, deve-se observar o ambiente de aplicação do polímero e as condições de injeção (POLYPHTHALAMIDE DESIGN GUIDE).

Como outros polímeros, a políftalamida absorve umidade da atmosfera. Quando um componente moldado com PPA atinge o equilíbrio com 100 % de umidade atmosférica relativa, o aumento no peso devido à absorção da umidade será grosseiramente de 5 a 6 % do peso de PPA presente na peça. Se comparado com nylon 66, a PPA absorve diferentes taxas de umidade e atinge diferentes valores de adsorção máxima<sup>8</sup>.

O resultado final que se percebe é que a PPA absorve menos umidade que os *nylon* típicos, como também o faz mais lentamente. O coeficiente de difusão de água na PPA é aproximadamente 20 % inferior daquele observado para o nylon 66 a 23 °C.

<sup>8</sup> APERÇU SUR LES THERMOPLASTIQUES TECHNIQUES. Disponível em <<http://www.emsgrivory.com>> Acesso em Jul/03.  
POLYPHTHALAMIDE DESIGN GUIDE. Disponível em <<http://www.solvay.com>> Acesso em Jul/03.

As resinas de PPA comercialmente disponíveis possuem diferentes *grades*, podendo ser puras, modificadas para impacto, reforçadas com fibra de vidro, com cargas minerais ou com retardantes de chama. O polímero base é branco translúcido devido à sua cristalinidade. Suas cores podem variar devido aos aditivos empregados (estabilização ao calor, lubrificação etc.). Isto oferece desempenho melhorado quando comparado com outros polímeros de engenharia porque apresentam maior dureza, rigidez, temperaturas de fusão e de transição vítrea. O emprego de reforços, cargas e outros aditivos melhoram ainda mais suas propriedades de aplicação.

A resina de PPA, objeto desta Dissertação, é aditivada de 40% de carga mineral, sem adição de corantes.

#### **4.6.3 Propriedades mecânicas da PPA**

As literaturas técnicas dos fabricantes de polímeros normalmente listam as propriedades mecânicas dos polímeros obtidas com o material recém produzido, ou seja, nas melhores condições de desempenho. A utilidade destes dados reside na possibilidade de poder comparar os dados de materiais similares a serem considerados para uma aplicação desejada.

As propriedades mecânicas típicas que caracterizam um polímero em geral - e no caso em estudo a poliftalamida - são o módulo de elasticidade, a tensão no ponto de escoamento, o alongamento na ruptura, a resistência ao impacto com e sem entalhe, a tensão na compressão, a tensão de cisalhamento, a dureza superficial e o teor de umidade. Outras propriedades podem ser levadas em consideração para cada aplicação específica<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> SYDENSTRICKER, T. Informações sobre Polímeros UFPR, Curitiba, 2002. Anotações de aula da disciplina TM-716 "Tecnologia de polímeros".



Estas propriedades são medidas com corpos de provas injetados em condições de reprodutibilidade de resultados máximas, sob condições ambientais cuidadosamente controladas e utilizando-se de cargas de testes especificadas em normas técnicas emitidas por organismos internacionais de metrologia. Usualmente as propriedades mecânicas da PPA são medidas, para efeitos de literatura (POLYPHITHALAMIDE DESIGN GUIDE) sob a condição de umidade tal como obtida do processo de moldagem (“dry-as-molded” ou D.A.M.) ou à taxa de umidade em equilíbrio de 50% de umidade relativa (50% RH).

#### 4.7 BUSCA DE FORNECEDORES ALTERNATIVOS

É cada vez mais comum a companhia produtora de polímeros prestar consultoria a seus clientes na solução de problemas. Muitas disponibilizam inclusive suas instalações para testes de compatibilidade ou outros. O emprego de *softwares* de simulação, mantidos sob sigilo da concorrência, pode garantir o fornecimento de um material que fará a diferença no produto final do cliente. Isto acaba sendo um bom negócio tanto para o fabricante quanto para o fornecedor, pois, enquanto um precisa resolver um problema complexo demais para seu pessoal ou seus equipamentos, o outro tem todo o interesse em aplicar seus produtos. A assistência técnica fornecida por fabricantes de polímeros é, indiscutivelmente, uma das grandes ferramentas no projeto de novos produtos e na reformulação das linhas de qualquer fabricante de produtos à base de polímeros.

Neste trabalho, fornecedores de polímeros foram consultados como forma alternativa de busca de material substituto à PPA usada na tampa da portinhola do tanque de combustível.



## 5- MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.1 Poliftalamida (PPA)

A Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas, térmicas e genéricas da PPA usada neste trabalho (dados do fabricante).

Tabela 4 - Propriedades típicas da PPA reforçada com carga mineral

| Tabela 4 - Propriedades típicas da PTFE alongada com carga mineral |                |                       |               |       |
|--|----------------|-----------------------|---------------|-------|
| PROPRIEDADES   | MÉTODO<br>ASTM | UNIDADE               | POLIFTALAMIDA |       |
|  |                |                       | D.A.M.        | 50%RH |
| Propriedades mecânicas   |                |                       |               |       |
| Resistência ao escoamento  | D 638          | MPa                   | 107           | 93    |
| Resistência ao alongamento   | D 638          | %                     | 1.6           | 1.2   |
| Módulo de escoamento   | D 638          | GPa                   | 9.0           | 8.3   |
| Resistência à flexão   | D 790          | MPa                   | 196           | 172   |
| Resistência ao cisalhamento  | D 732          | MPa                   | 96            | 93    |
| Resistência à compressão<br>(13x13x25mm)                           | D 695          | MPa                   | 179           | 166   |
| Resistência ao impacto IZOD  |                |                       |               |       |
| Comentalhe   | D 256          | J/m                   | 48            | 31    |
| Sementalhe   |                |                       | 530           |       |
| Dureza Rockwell  | D 785          | R                     | 125           |       |
| Propriedades térmicas  |                |                       |               |       |
| Temperatura de deflexão  |                |                       |               |       |
| A 1.80 Mpa   | D 648          | °C                    | 154           |       |
| A 0.45 Mpa   |                |                       | 260           |       |
| Ponto de fusão   | D 3418         | °C                    | 310           |       |
| Coeficiente de expansão térmica                                    |                |                       |               |       |
| 0° - 100°C Direção Fluxo   |                |                       | 3.4           |       |
| Direção Transversal  | E 831          | 10 <sup>5</sup> m/m°C | 4.0           |       |
| 160° - 250°C Direção Fluxo   |                |                       | 7.9           |       |
| Direção Transversal  |                |                       | 9.5           |       |
| Propriedades genéricas   |                |                       |               |       |
| Densidade  | D 792          |                       | 1.53          |       |
| Absorção de umidade, 24 h  | D 570          | %                     | 0.14          |       |

|                       |                     |       |   |     |     |
|-----------------------|---------------------|-------|---|-----|-----|
| Encolhimento no molde |                     |       |   |     |     |
|                       | Direção do fluxo    | D 955 | % | 1.0 | 0.7 |
|                       | Direção transversal |       |   | 1.0 | 0.7 |

D.A.M – *Dry-as-molded*, ou seja, umidade conforme obtido no processo de moldagem.

50% R.H. – taxa de umidade em equilíbrio de 50% de umidade relativa.

FONTE: Adaptada de <http://www.solvay.com> > acesso em Jul/03.

### 5.1.2 Molde

Confeccionado para injeção de peças com a PPA por uma ferramentaria nacional, seguindo-se as mesmas especificações da ferramenta projetada na Europa para produção da mesma peça usada nas plantas europeias da montadora. Capacidade de produção de 250 peças por dia.

### 5.1.3 Injetoras

Na fase de testes do processo de produção, visando a adaptação das condições ótimas de injeção, várias injetoras com capacidades desde 150 ton. até 270 ton. de força de fechamento foram utilizadas. Todas as injetoras usadas são dotadas de roscas duplas de injeção, com diferentes capacidades de carga de acordo com a capacidade de fechamento, bem como de sistemas de aquecimento e resfriamento para controle de temperatura do processo de injeção.

### 5.1.4 Dispositivo de resfriamento (berço)

A fim de promover a estabilização dimensional da peça injetada e extraída da injetora, 100% das peças produzidas são depositadas em dispositivos de resfriamento. As peças permanecem no dispositivo até atingirem a temperatura ambiente e são submetidas a uma pressão contrária à força de

empenamento que provoca a variação de forma em razão da contratilidade do material. O dispositivo foi desenvolvido pelo fabricante das peças, em conjunto com a montadora, sendo considerado segredo industrial.

#### **5.1.5 Equipamento para teste de tração**

Os testes de laboratório foram executados tanto no fornecedor quanto na montadora. Utilizou-se na montadora de um dinamômetro marca Zwick, de acordo com a especificação da norma DIN EN ISO 527-2, com velocidade de ensaio de 100 mm/min.

#### **5.1.6 Equipamento para teste de impacto**

Na montadora utilizou-se uma máquina para os testes de impacto com e sem entalhe da marca Zwick, em concordância com a norma DIN EN ISO 179-1.

#### **5.1.7 Equipamento para teste de TGA**

Balança termogravimétrica, fabricante Netzsch, modelo TG-209.

- Faixa de temperatura: 20 a 900 °C;
- Velocidade de aquecimento: 20 °C/min.

### **5.1.8 Equipamento para teste de DMA**

Analizador dinâmico mecânico, fabricante Netzsch, modelo 242.

- Faixa de temperatura: temperatura ambiente a 200°C;
- Frequência: 1 Hz;
- Força dinâmica: 1 N;
- Força estática: 0,5 N

### **5.1.9 Equipamento para teste de resistência à deformação térmica**

Utilizou-se uma máquina para análises de HDT VICAT, marca CEAST, tipo 6921, em conformidade com o processo B50, DIN EN ISO 306.

### **5.1.10 Equipamento para teste de densidade**

Foi utilizada uma balança gravimétrica marca Mettler de acordo com a norma DIN 53.479.

## **5.2 MÉTODOS**

A caracterização das variáveis envolvidas no processo de obtenção da portinhola da tampa do tanque de combustível foi executada a partir da elaboração do problema prático ao qual está sujeita a montadora interessada neste estudo, bem como seu fornecedor diretamente envolvido na injeção

desta peça. A decomposição das diversas etapas e das variáveis decorrentes de cada uma delas foi feita de acordo com a constatação prática das deficiências do processo produtivo.

A busca por polímeros alternativos se fez de duas formas: a consulta e uso de alguns *sites* da Internet dedicados ao tema da seleção de materiais poliméricos para emprego na indústria e a consulta direta a fornecedores tradicionais de materiais empregados na indústria automotiva, com grande experiência na seleção e desenvolvimento de materiais para os usos típicos. Com isto se pôde avaliar o desempenho destes seletores frente ao conhecimento obtido dos fabricantes de polímeros. A análise crítica decorrente desta comparação sustentará o estudo dos algoritmos computadorizados de seleção de materiais.

Os *sites* considerados para fins desta Dissertação foram os de fabricantes de materiais mais destacadamente utilizados como fornecedores para a montadora interessada neste estudo, bem como os seletores de institutos estrangeiros utilizados como base nos estudos da disciplina TM-792 – Seletores de materiais.

Aos fornecedores de polímeros instalados no Brasil foi solicitado propor quais dos materiais em seus portfólios poderiam substituir a PPA, mesmo que apresentando alguns desvios em relação à especificação proposta inicialmente pela companhia. Partiu-se não só das características físico-químicas dos polímeros, mas também da experiência anterior dos fornecedores no emprego de materiais em peças de acabamento externo de veículos.

Para a solução dos problemas de obtenção e disponibilidade da peça foi feita:

- A caracterização dos materiais que eventualmente se enquadraram nos requisitos de projeto através das análises físico-químicas, conforme norma analítica interna da montadora;
- Sua análise laboratorial dos possíveis materiais conforme item 5.3 e;

- Quando julgados compatíveis com o processo de produção, os testes de injeção foram executados conforme as orientações do fabricante do material, obedecidos os parâmetros do fabricante da peça para o processo de produção.

Caso tenha sido julgado adequado, ou seja, atendidos os pré-requisitos de projeto, após a execução dos testes foi indicado ou não o emprego do material substituto, bem como proposta a sugestão de melhorias aos *sites* consultados no processo de seleção de materiais.

### 5.2.1 Busca de polímeros substitutos através dos seletores de materiais

A consulta a vários *sites* da Internet dedicados à seleção de materiais, usando-se os critérios de seleção solicitados pelos mesmos, listados no item 6.1, indicou os polímeros tais que, quando analisados em confronto com as exigências e condições impostas pela montadora, resultou na consideração ou exclusão destes para o estudo. Estas consultas servem igualmente de base ao trabalho de avaliação de desempenhos dos *sites* e dos resultados obtidos de sua utilização.

Foram acessados os seguintes *sites* para a realização de busca de material substituto à PPA:

1. [http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)
2. <http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>
3. <http://www.geoplastics.com/dfss/servlet/matsel>
4. <http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>
5. <http://www.designinsite.dk/>
6. [http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp)



Um pequeno relatório foi realizado reportando críticas e dificuldades enfrentadas na busca e sugestões para facilitar a seleção (Item 6.1). Todas as alternativas dadas pelos *sites* foram listadas e avaliadas como substitutos à PPA.

### **5.2.2 Busca de polímeros substitutos com fornecedores**

Quando se analisam as exigências requeridas para a portinhola da tampa do tanque de combustível de veículos, percebe-se que a aplicação da PPA para esta peça apresenta características mais nobres do que as realmente exigíveis pelo esforço aplicado à peça, uma das razões pelas quais procura-se neste estudo uma alternativa economicamente mais viável.

A complexidade logística associada à obtenção da matéria-prima para a produção da peça final, aliada a uma necessidade de redução de custo da peça, sustentou a solicitação da montadora ao fornecedor da peça em questão para a busca de alternativa mais barata, com mesmo nível de desempenho de aplicação da peça. Os estudos na cadeia de valor deste componente indicaram o processo de importação da matéria-prima como sendo o fator limitante na oferta em nível adequado da produção do componente. Assim, optou-se como premissa básica pela busca de um fornecedor de material polimérico nacional.

### **5.2.3 Confeção de peças no mesmo molde**

Selecionados os polímeros com características consideradas aceitáveis para a substituição, os testes de injeção foram iniciados, mantendo-se o mesmo molde, ajustando-se apenas os parâmetros de injeção às condições do polímero proposto. As peças obtidas foram avaliadas em laboratório

segundo a norma de qualidade da montadora para avaliação da portinhola de combustível. Destes materiais propostos, os que resultaram características muito distintas das exigidas da PPA, ou que foram considerados nos testes funcionais como insuficientes, ou ainda que não atingiram um grau aceitável de adaptabilidade ao molde de injeção foram novamente descartados. Permaneceram apenas aqueles materiais considerados satisfatórios ou equivalentes, até a eleição do único material compatível com as características exigidas de projeto e de produto já listadas anteriormente.

#### **5.2.4 Caracterização do material substituto**

Após as triagens iniciais, os materiais considerados viáveis na análise preliminar foram química e fisicamente caracterizados, visando obter peças com nível de qualidade equivalente ao da PPA, conforme norma de procedimento interno da montadora de automóveis. As considerações quanto à adequação do material ao molde, os custos, a manuseabilidade, a disponibilidade da matéria-prima e a aplicação final da peça injetada com o novo polímero foram estabelecidas e os resultados tabelados e divulgados.

### **5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS POSSÍVEIS POLÍMEROS SUBSTITUTOS**

#### **5.3.1 Ensaios de tração (alongamento na ruptura e tensão no escoamento)**

Os testes de tração foram realizados segundo a norma DIN EN ISO 527-2 com corpos de provas injetados e tracionados a 100 mm/min. Os resultados obtidos são correspondentes à média de 10 corpos de prova para cada amostra analisada.

### **5.3.2 Ensaio de dureza de compressão de esfera**

Os testes de dureza de compressão de esfera foram realizados segundo a norma DIN EN ISO 2039-1 com corpos de provas injetados atingidos pela esfera a 358 N/30s. Os resultados obtidos são correspondentes à média de 02 medições em cada corpo de prova, obtidas em 03 corpos de provas de cada amostra analisada.

### **5.3.3 Ensaio de resistência à deformação térmica**

O teste de resistência à deformação térmica foi conduzido pelo método Vicat, processo B50, conforme norma DIN EN ISO 306, com corpos de prova injetados e os resultados obtidos são correspondentes à média de 3 corpos de provas de cada amostra analisada.

### **5.3.4 Ensaio de densidade**

Os testes de densidade foram realizados segundo a norma DIN 53479, com amostra granulada do polímero. Os resultados obtidos são correspondentes à média de duas amostras para cada amostra analisada.

### **5.3.5 Análise Termogravimétrica**

- Faixa de temperatura: 20 a 900 °C;
- Velocidade de aquecimento: 20 °C/min.

### 5.3.6 Análise Dinâmico-Mecânica

- Faixa de temperatura: temperatura ambiente a 200°C;
- Frequência: 1 Hz;
- Força dinâmica: 1 N;
- Força estática: 0,5N

### 5.3.7 Teste de injeção em molde

Os materiais foram injetados em máquinas injetoras disponíveis no fornecedor da portinholado tanque de combustível, com capacidade do bico de injeção variando entre 430 g e 1300 g de material aquecido e capacidade de fechamento das injetoras de 150 e 270 toneladas, respectivamente. Utilizou-se também um desumidificador de material com capacidade para 250 Kg. O método de desumidificação usado para cada polímero foi o descrito pelo fabricante do material, visando condição de injeção ótima.

Depois de injetada e retirada do molde ainda quente, a peça foi colocada em um dispositivo para estabilização dimensional, conhecido como “berço”, uma estrutura construída pelo fabricante para garantir que as tensões internas referentes ao processamento do polímero sejam relaxadas de maneira homogênea, garantindo a estabilidade dimensional da peça ao longo do processo produtivo seriado.

## 6- RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1 PROCESSO DE SELEÇÃO DA ALTERNATIVA À PPA EM *SITES* DE SELETORES DE MATERIAIS

Para fins de estabelecimento do grau de aplicabilidade dos seletores de materiais disponíveis comercialmente na Internet, consultou-se os *sites* disponíveis mais importantes, avaliando-se sua adequação à busca da solução do problema proposto nesta Dissertação quanto à substituição do material. O resultado mostra diferentes formas de coletar os dados e de apresentação dos resultados<sup>10</sup>. A razão para tal é que os vários *sites* consultados são destinados a fins diferentes. Uns são mais voltados à pesquisa científica<sup>11</sup>, outros são voltados ao suporte a clientes e vendas de polímeros comercialmente disponíveis<sup>12</sup>. Não existe uma uniformização dos critérios de busca de materiais nestes seletores, pois cada um deles solicita os dados de entrada de acordo com seu perfil de finalidade, seja genérico ou comercial. Assim, os seletores MAS2<sup>30</sup> e Matweb<sup>40</sup> solicitam informações

---

<sup>10</sup> Disponível em <<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <[http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp)> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <<http://www.geoplastics.com/>> Acesso em Jul/03.

Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <[http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)> Acesso em Jul/03 e Set/04.

<sup>11</sup> Disponível em <<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

<sup>12</sup> Disponível em <[http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp)> Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

Disponível em <<http://www.geoplastics.com/>> Acesso em Jul/03.

Disponível em <[http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)> Acesso em Jul/03 e Set/04.

técnicas, como tensão no ponto de escoamento e resistência ao impacto, ao passo que os seletores “comerciais” se limitam a perguntar muitas vezes apenas o campo de aplicação.

A busca por alternativas à PPA passou pela utilização dos seletores comerciais listados no item 5.2.1. Abaixo estão listadas as impressões e resultados obtidos da utilização destes *sites* para o propósito desta Dissertação:

1 - <http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>

- Fonte de dados abrangente;
- De uso aberto, acessível a qualquer usuário sem necessidade de cadastro prévio;
- Inclui formas de processamento mais adequadas;
- Informa faixas de custos para obtenção das peças;
- Genérico para todos os tipos de materiais, com e sem marcas.

O sistema considera apenas porcentagens de chance de o processo ser adequado ao produto que se deseja construir. No caso desta busca, o software retornou 86% de chance de se usar um termoplástico com 100 % de chance de uso do processo de injeção. Quando se buscou o uso de termoplástico com injeção, o resultado foi 95 % de chances. O software não indica material, apenas o grupo de materiais possíveis, neste caso termoplásticos por injeção.

2 - [http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)

- Precisa de cadastro prévio para inicialização e uso do seletor;
- Somente efetua buscas entre os produtos da companhia.

A busca se faz pela literatura disponível dos produtos da companhia, sem individualizar o polímero, apenas citando a família de resinas que se encaixa para o uso desejado. O resultado com as características de busca (mercado: Automotivo exterior e tipo de documento: literatura de produto) resultou em 17 documentos sobre as seguintes resinas:

- Poliéster termoplástico baseado em poli(tereftalato de butileno) (PBT);
- Poliacetal copolímero;
- Termoplástico reforçado com fibras longas;
- Ligas de poliéster termoplásticos.

Os polímeros, todavia, não foram especificados e o resultado foi genérico, sugerindo a consulta ao corpo técnico do fornecedor para aprimoramento da busca.

3 - <http://www.geoplastics.com/dfss/servlet/matsel>

- Precisa de cadastro prévio do usuário para inicialização e uso do seletor;
- Apresenta tanto a ficha técnica dos polímeros quanto dados relativos à composição do material e categoria a que pertence;
- Busca pode ser feita pelas propriedades do material que se deseja;
- Somente para produtos da companhia.

Utilizando-se como critérios de busca os apresentados na Tabela 5 (tensão no ponto de escoamento, alongamento na ruptura, ponto de amolecimento e densidade), chegase aos seguintes resultados:

Tabela 5 - Resultados obtidos no site da empresa GE Plastics

| <i>Nome Genérico</i> | <i>Tensão no escoamento (MPa)</i> | <i>Alongamento até ruptura (%)</i> | <i>Ponto de amolecimento Vicat (°C)</i> | <i>Densidade</i> |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|------------------|
| PC+ABS               | 59                                | 9                                  | 118                                     | 1.22             |
| PBT+PC               | 50                                | 150                                | 126                                     | 1.20             |
| PBT+PC               | 57                                | 5                                  | 129                                     | 1.23             |
| PC+POLIÉSTER         | 55                                | 120                                | 130                                     | 1.24             |
| PC+POLIÉSTER         | 55                                | 135                                | 115                                     | 1.20             |
| PC+POLIÉSTER         | 56                                | 5                                  | 115                                     | 1.20             |
| PC+POLIÉSTER         | 60                                | 6                                  | 126                                     | 1.20             |
| PC+POLIÉSTER         | 63                                | 135                                | 126                                     | 1.20             |
| PC+POLIÉSTER         | 55                                | 92                                 | 123                                     | 1.20             |

O *site* apenas indica os materiais e aponta para as folhas de especificação do produto, não informa sobre a disponibilidade local do material ou não, adequação a um molde já existente ou necessidade de um molde específico ao material, abrindo sempre a possibilidade de consulta aos técnicos da companhia para solução de dificuldades e refinamento da busca.

Os resultados obtidos foram expressos apenas como mistura genérica, não entrando no detalhe da percentagem de composição da mistura.

Como os outros *sites* listados até agora, este é usado mais como uma ferramenta de *marketing* no auxílio do contacto do cliente com a companhia do que efetivamente como um seletor de polímeros.

#### 4 - <http://www.matweb.com/>

- De uso aberto (não necessita cadastro prévio do usuário) para pesquisas básicas; requer cadastro para busca avançada, comparação entre materiais e *download* de fichas técnicas;
- Abrangente também, mas precisa de dados técnicos para fazer a seleção;



- Necessário selecionar até três características técnicas para proceder a escolha na busca básica;
- Estrutura de busca bastante técnica, apresentando nos resultados tanto a ficha técnica quanto dados da composição do polímero, categoria a que pertence e processos de fabricação possíveis;
- Retornar tanto materiais genéricos como produtos de marca;
- Exige a abertura de várias telas, demanda longo tempo de busca e pode causar desorientação do usuário.

A Tabela 6 lista os critérios utilizados na seleção (Módulo de flexão, resistência ao impacto e tensão no escoamento) e os resultados obtidos:

Tabela 6 - Resultados obtidos no site Matweb

|    | Nome do Material  | Módulo de flexão, MPa | Resistência ao impacto com entalhe, J/cm | Tensão no escoamento, MPa |
|----|---|-----------------------|--|---------------------------|
| 1  | Genérico- Acetal copolímero, reforçado com 30% de fibra de vidro                                      | 90 - 216              | 0.48 - 1                                 | 140                       |
| 2  | Genérico- Nylon 6 com 20% de fibra de vidro   | 88 - 220              | 0.5 - 2.5                                | 60 - 130                  |
| 3  | Genérico- Nylon 6 reforçado com fibra de vidro/carga mineral  | 100 - 272             | 0.4 - 1.12                               | 2 - 135                   |
| 4  | Genérico- Nylon 66 com 10% de fibra de vidro  | 43 - 190              | 0.4 - NB                                 | 90 - 120                  |
| 5  | Genérico- Nylon 66 com 20% de fibra de vidro  | 86 - 220.7            | 0.5 - 1.87                               | 90 - 152                  |
| 6  | Genérico- Nylon 66 com 10% de fibra de Carbono  | 117 - 207             | 0.39 - 1.6                               | 150                       |
| 7  | Genérico- Nylon 66 com 30% de carga mineral   | 115 - 152             | 0.38 - 2.19                              | 150                       |
| 8  | Genérico- Nylon 66 com 40% de carga mineral   | 103 - 193             | 0.2 - 1.3                                | 69 - 120.7                |
| 9  | Genérico- Nylon 66 reforçado com fibra de vidro/carga mineral   | 99 - 236              | 0.3 - 1.28                               | 106.9 - 130               |
| 10 | Genérico- Poliarilamida reforçada com fibra de vidro  | 120 - 400             | 0.35 - 1.2                               | 170                       |
| 11 | Genérico- Policarbonato reforçado com fibra de vidro aditivado de retardante de chama                 | 93 - 262              | 0.5 - 3.2                                | 58.6 - 127                |
| 12 | Genérico- Poli(tereftalato de butileno) reforçado com fibra de vidro aditivado de retardante de chama | 82 - 225              | 0.3 - 1.18                               | 54.7 - 120                |
| 13 | Genérico- Poli(tereftalato de butileno) reforçado com fibra de vidro e PTFE                           | 106.8 - 152           | 0.5 - 1.12                               | 66 - 129                  |
| 14 | Genérico- Poliimida   | 82.7 - 200            | 0.4 - 0.75                               | 120                       |
| 15 | Genérico- Polissulfeto de fenileno com 40% de fibra de vidro, moldado                                 | 117 - 279             | 0.4 - 4.5                                | 134 - 193                 |
| 16 | Genérico- Poliestireno indotático reforçado com fibra de vidro ou de carbono                          | 103 - 186             | 0.4 - 1.5                                | 92 - 132                  |

Os polímeros indicados pelo *site* não se mostraram adequados ao estudo de caso, pois a combinação poliamida reforçada com fibra de vidro já fora descartada pela montadora e as outras sugestões apresentam os mesmos inconvenientes desta mistura ou se tratam de polímeros de alto desempenho ou especialidades (Poliestireno indotático), ainda mais caros e específicos que a PPA.

5 - <http://www.designinsite.dk/>

- Cita apenas materiais utilizados pelo instituto na execução de vários produtos (alguns já desatualizados), como o caso do uso de alumínio em uma caixa de câmbio de um veículo ano 1997;
- Busca apenas pela lista de aplicações já executadas pelo instituto, apresenta-se uma lista com as características do material proposto. A busca pelas propriedades do polímero não é considerada;
- Não apresenta valores das propriedades do material proposto, apenas suas características.

O *site* só apresenta os tipos de materiais, sem indicar um material específico. Outra forma de se proceder à seleção é verificar os produtos já projetados pelos projetistas do *site* e os materiais indicados para cada fim. No caso da portinhola de combustível não houve uma indicação direta, mas aplicações em exterior de automóveis, como um capô feito em poliéster reforçado com fibra de vidro, feito por moldagem por transferência de resina (RTM), ou uma porta de automóvel feita em PEEK (poli(éter-étercetona)). Estes resultados são muito genéricos e insuficientes para o nível de detalhamento necessário para se considerar sua aplicação neste estudo de caso.

6 - [http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp)

- Não requer cadastro prévio do usuário para uso;
- Os dados de busca são os sugeridos pelo *site*, visando adequar ao portfólio de produtos da companhia;
- A apresentação dos resultados é feita de forma comercial, mostrando sempre o nome comercial do produto da companhia;
- Ficha técnica completa, com muitas propriedades e valores, com possibilidade de consulta direta à folha de dados do produto;
- Somente para produtos da companhia.

O *site* é aberto a todos os usuários, mas retorna resultados dos produtos da Companhia. Com os critérios de seleção pedidos pelo *site* (Mercado: “Automotivo” e segmento de mercado: “Partes externas”), chegou-se aos seguintes resultados:

- TECHNYL®STARTMS 218 L1 V30 Black1N- Poliamida reforçada com 30% de fibra de vidro, estabilizada a quente, com alta resistência ao envelhecimento por UV para injeção em molde.
- TECHNYL®STAR TM S 218 V30 BLACK 31 N - Poliamida reforçada com 30% de fibra de vidro, estabilizada a quente, para injeção em molde. Caracterizada por uma alta fluidez do material fundido.
- TECHNYL®STAR TM S 218 V35 BLACK 31 N - Poliamida reforçada com 35% de fibra de vidro, estabilizada a quente, para injeção em molde. Caracterizada por uma alta fluidez do material fundido.
- TECHNYL®A 238P5 M25 BLACK 5N - Poliamida 66 reforçada com carga mineral, estabilizada a quente, condutiva, com alta resistência a impacto para injeção em molde.
- TECHNYL®B 218L V20 BLACK 44 N - Copoliamida 66/6, reforçada com 20% de fibra de vidro para Injeção em molde, estabilizada a quente e com alta resistência ao envelhecimento por UV.

- TECHNYL®C 216 V30 BLACKZ/4 - Poliamida PA6 , reforçada com 30% de fibra de vidro para Injeção em molde.

Todos os resultados são à base de poliamidas reforçadas com fibra de vidro, previamente descartadas pela montadora, não aplicáveis ao caso, portanto. O resultado mostra também que o critério de busca é muito superficial, não permitindo indicar condições de uso mais específicas, como o fato da predominância de temperaturas mais baixas em alguns países do hemisfério norte, o que induz a um erro de projeto, uma vez que, como já mencionado, baixas temperaturas ambientes provocam fragilidade na mistura PA + fibra de vidro.

Numa análise prévia dos resultados obtidos com as buscas nos seletores de materiais listados anteriormente, constatou-se que os dados eram insuficientes para fundamentar o início da fase de testes práticos. A unanimidade entre os seletores, a poliamida reforçada com fibra de vidro, não poderia ser levada em consideração, por definição inicial do projeto. Além disto, a temperatura de operação não foi uma característica relevante em nenhum dos seletores pesquisados, o que possivelmente excluiria esta opção dos resultados. Os outros resultados apontavam para polímeros de alto desempenho ou especialidades de igual dificuldade para obtenção, bem como sem nenhum histórico de uso que pudesse suportar a aplicação na ferramenta desta peça sem a necessidade de extensa modificação no ferramental ou até, caso extremo, a construção de um novo ferramental. Assim sendo, os dados obtidos não foram suficientes para transmitir segurança na condução desta linha de raciocínio, pois o tempo de resposta e os custos necessários à confecção das peças protótipos seriam elevados.

Desta maneira, optou-se por consultar o conhecimento acumulado pelos fabricantes de polímeros locais para a aquisição de novas alternativas à solução deste problema.

## 6.2 AVALIAÇÃO DOS SELETORES DE MATERIAIS UTILIZADOS

A análise do uso destes seletores revelou que, basicamente eles não levam em consideração:

- Nenhum deles oferece a possibilidade de responder “não sei” a algum dos itens constantes na pesquisa para evitar uma resposta qualquer do usuário com conseqüente insucesso na busca. A opção “ignore” só foi aceita no *site* “mas2”. Contudo, a opção “ignore” é interpretada como um indicativo da pouca importância da característica em questão, ao passo que a opção “não sei” indica que, apesar de o usuário não poder responder à pergunta formulada pelo seletor, ele também não pode afirmar que aquela propriedade não é significativa para o sucesso da busca.
- A avaliação da aplicabilidade do processo de produção (injeção, sopro, rotomoldagem etc.) mais adequado à peça que se deseja;
- A temperatura de operação da peça;
- O período de vida útil desejado da peça;
- O meio-ambiente de operação (exposição ao sol, umidade, atmosfera agressiva, por exemplo);
- A forma também pode influir na seleção;
- O emprego e o desempenho de materiais reciclados (relativo à perda de propriedades mecânicas no reciclado), bem como a reciclabilidade da peça;
- A avaliação de filmes multicamadas;
- O emprego de polímeros no setor elétrico;

De posse destas informações, os *sites* foram avaliados e chegou-se às seguintes conclusões

e/ou sugestões de melhorias para torná-los mais amigáveis aos usuários:

Ao acessar-se o *site* é primordial que o sistema “apresente-se” ao usuário, explicando-lhe como funciona, qual sua premissa básica de busca e resultados obtidos, quais as limitações, numa forma de tutorial sobre o funcionamento do seletor. Especialmente para a possibilidade de o usuário responder “não sei” ou “ignore” a uma ou algumas questões, a abrangência desta resposta deve ser muito bem explicada, de forma que o usuário saiba exatamente o que está perguntando ao programa e entenda claramente que limitações estão incluídas no resultado que receberá.

Recomenda-se que os seletores permitam aos usuários poder iniciar a busca conforme suas necessidades e seu conhecimento quanto ao projeto de produtos. Pode ser que este prefira dizer primeiro que produto pretende fabricar, pois não tem noção de quais materiais podem ser empregados para tal fim.

Pode haver um caso onde um usuário poderá saber que material empregar, apenas precisará confirmar se as propriedades do material eleito atendem às exigências requeridas pelo produto final. Assim, o sistema de busca inicial deve prever a possibilidade de seleção tanto via campo de aplicação (mercado, segmento, peça) quanto por propriedades físico-químico-mecânicas dos materiais.

Uma outra forma de seleção ainda não implementada em nenhum seletor comercial é a que correlaciona a estrutura química dos polímeros com as suas propriedades. Assim, à medida que o usuário responde perguntas ao seletor, o programa gradualmente identifica possíveis polímeros candidatos (misturas, compósitos etc.) à aplicação buscada através da localização da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e da temperatura de fusão cristalina ( $T_m$ ). Van Krevelen (1990) correlaciona estas propriedades térmicas com a rigidez ( $G$ ) dos polímeros.

O leque de possíveis candidatos poliméricos se estreita na medida em que o usuário, em processo iterativo com o programa, fornece novas informações a respeito de:

- Custo;
- Resistência à tração requerida;
- Velocidade de produção desejada, relacionada ao processo de moldagem;
- Temperatura de aplicação;
- Necessidades de propriedades elétricas, ópticas ou de permeação a gases especiais;
- Valor máximo do coeficiente de expansão térmica;
- Características de inflamabilidade;
- Resistência ao calor;
- Estabilidade dimensional na temperatura máxima de aplicação;
- Tolerância dimensional;
- Necessidade de o polímero ter ou não resistência elétrica constante apesar de variações da umidade ou de estar imerso em água.

Evidentemente, deve haver sempre a opção do usuário responder “não sei” a eventuais perguntas, sem que o programa deixe de continuar a busca da  $T_g \Rightarrow$  estrutura química  $\Rightarrow$  polímero que melhor satisfaça às necessidades do usuário<sup>1513</sup>.

Devido ao atual nível tecnológico de desenvolvimento dos programas e das máquinas de computação, a interligação das diversas propriedades listadas no parágrafo anterior com as

---

<sup>1513</sup> SYDENSTRICKER, T. Informações sobre Seletores de Materiais UFPR, Curitiba, 2003. Anotações de aula da disciplina TM-792 “Seletores de Materiais”.

necessidades finais de cada projeto particular pode ser feita com o uso de bancos de dados relacionais e a programação orientada a objeto, minimizando o uso instantâneo de capacidade de processamento e otimizando o desempenho do sistema como um todo.

A cada dado inserido, o *software* deve ser capaz de ir aos bancos de dados e retornar com um estreitamento de possibilidades na direção do resultado final, num processo de múltiplas iterações.

Outro fator importante é a escolha do sistema métrico, de forma a abranger o maior leque possível de usuários familiarizados com sistema internacional ou inglês. A possibilidade de uso de três idiomas (português, espanhol e inglês) deve ser explorada igualmente, dada ao fato de abranger usuários de vários países.

Deve existir um compromisso entre a usabilidade e a correção dos resultados obtidos. Inúmeros questionamentos relevantes a cada aplicação particular não são contemplados normalmente, como os relativos a filmes multicamadas, o tempo de serviço do produto em questão, questões relativas ao impacto ao meio ambiente causado pelo uso daquele polímero, entre outros. É necessário, a partir do produto que se deseja, dirigir o seletor a outras máscaras específicas, que considerem as particularidades de cada aplicação, de forma que se possa permanecer em um número de questões em torno de 20 até uma primeira seleção, com tantas iterações posteriores para refinar a busca quantas sejam necessárias e o usuário esteja disposto a executar.

Tomando-se como exemplo o projeto do uso de filmes multicamadas, é importante ressaltar que a escolha dos polímeros que formarão as diferentes camadas depende do tipo de produto a embalar (carnes, biscoitos, frutas, cosméticos, por exemplo), sendo o custo do filme o fator limitante em todos os casos. Utilizando-se polímeros com as melhores propriedades de barreira contra gases (PET por exemplo) é possível embalar tanto refrigerantes como cosméticos com uma única camada. Contudo, sempre existe a competição custo/desempenho entre filmes multicamadas, produtos que



requerem menor permeabilidade do que a obtida com o uso de PET e embalagens feitas com uma única camada mais espessa de um dado polímero. A aplicação final, o processo de empacotamento, o tempo de vida útil do produto embalado e as condições de armazenagem final do produto embalado determinarão qual dos sistemas é mais adequado ao caso em análise.

A pluralidade de materiais e aplicações exige um seletor dinâmico, que se adapte às necessidades da busca. A impressão pessoal é muito favorável à forma e aos critérios adotados no MAS2<sup>14</sup>, embora nem este seja suficientemente abrangente a ponto de prever todos os casos de seleção.

De maneira geral, como se pôde perceber nos resultados, os dados obtidos dos seletores comerciais não são os mesmos indicados pela experiência dos fabricantes e o uso prático de polímeros que se faz para os fins específicos de uma aplicação em particular.

Os resultados das buscas aos seletores não são muito adequados ao caso em estudo nesta Dissertação, pois as premissas básicas do desenvolvimento foram a manutenção da mesma ferramenta desenvolvida para a PPA com, no máximo, pequenas adaptações, e a manutenção da resistência ao impacto em baixas temperaturas da peça acabada. A considerar-se algum dos polímeros sugeridos pelos seletores para o estudo, como foi o caso das poliamidas reforçadas com fibra de vidro, percebeu-se a necessidade da construção de um molde novo ou alterações muito drásticas no já existente, além de o próprio polímero não resistir adequadamente aos testes de impacto a temperaturas baixas, típicas de países do hemisfério norte, que inviabiliza comercialmente sua aplicação. Esta possibilidade, a de adaptação de um material a uma ferramenta já existente, também não estava prevista nos sites consultados.

---

<sup>14</sup> SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://cyberout.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul/03 e Set/04.

Há várias formas de se proceder a pesquisa básica em seletores de materiais. O critério mais comum usado em seletores voltados à pesquisa é o de propriedades mecânicas, físicas e químicas. A principal limitação deste método é a desconsideração quanto às características finais de uso, pois os dados empregados e solicitados para a seleção são os de polímero recém-produzido, não levando em conta as características do ambiente a que o produto será exposto durante o uso. Além disto, o usuário pode não saber responder a um número suficiente de questões sobre propriedades físicas, necessárias para uma correta indicação de material.

A viabilização comercial de um seletor de materiais que contemple esta e outras particularidades depende de um esforço conjunto neste sentido, através de um acordo com os vários fornecedores que fabricam e importam polímeros e que possuem os dados técnicos para divulgação, visando a construir um banco de dados nacional abrangente. Assim, um seletor de materiais eficiente e amigável ao usuário poderia ser desenvolvido.

Os *sites* de fabricantes de polímeros são mais voltados às práticas de *marketing* e apoio às vendas, pois raramente detalham a busca. Servem, por assim dizer, a um primeiro contato do cliente com a companhia, indicando dados superficiais que farão uma primeira seleção. Contudo, as peculiaridades de cada caso não são levadas em consideração, pois não se destinam a grandes refinamentos na busca. Estes *sites* objetivam o contato do cliente com o departamento de vendas da companhia, para então se estreitar o leque de possibilidades. O processo de seleção, e por extensão o conhecimento, concentra-se nas pessoas e não no computador.

Assim, a busca se torna morosa e dependente do contato usuário-fornecedor. Além disto, o usuário pode ser induzido a comprar um polímero fabricado pela companhia que não seja necessariamente a melhor opção para o caso em análise.

A outra forma de pesquisa básica encontrada foi a indicação de um instituto de *design* para os materiais já empregados nos produtos por ele desenvolvidos. Indiscutivelmente esta é uma forma de busca bastante razoável para um usuário com elevado conhecimento na especificação de materiais poliméricos no projeto de produtos e consiste em uma ferramenta útil para aquele projetista com apenas uma idéia de partida, sem saber exatamente que material ou grupo de materiais poderia empregar. Deve no entanto ser usada com muito cuidado, pois pode induzir a erros grosseiros, uma vez que, novamente, não se fala em tempo de uso ou ambiente de exposição do produto final.

### 6.3 ORIENTAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DE UM *SITE* PARA SELETOR DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

As propostas apresentadas a seguir não exaurem completamente a confecção do seletor, pois não foram implementadas em um sistema que pudesse ser empregado com o fim de testes, já que a confecção prática deste seletor não é o propósito deste estudo. As mesmas devem ser interpretadas como linhas mestras na confecção de um tal sistema, para o qual muitas peculiaridades intrínsecas ainda precisarão ser definidas e as rotinas de seleção transcritas em linguagem computacional por especialista. As orientações a seguir estão embasadas nas observações feitas a partir do uso dos seletores pesquisados no transcurso das atividades deste trabalho.

Com o objetivo de apresentar uma nova idéia às diferentes formas de busca para materiais poliméricos dentro dos *sites* de seleção de materiais, visando otimizar o processo de busca tanto para usuários “leigos” como para auxiliar os projetistas ambientados com o processo de seleção, propõe-se os seguintes passos e forma de seleção:

O código do seletor (veja Quadro 2) deve ter um detalhamento de programação tal que se construa um banco de dados que relacione categorias de produtos com tipos de produtos com estruturas possíveis, com geometrias adequadas, com dimensões do produto e com o âmbito da aplicação. O nível de detalhamento exemplificado no Quadro 2, a seguir, para a categoria “automotivo” deve ser reproduzido para as outras, englobando as peculiaridades de cada uma. Demonstra-se aqui apenas um exemplo em cada nível visando à compreensão da idéia. Em todas as etapas deve ser permitido ao usuário inserir a resposta “não sei” ou “ignore”, previamente informado do significado destas expressões.

Quadro 2 - Encadeamento proposto para o banco de dados do seletor

| Categoria       | Tipo        | Estrutura   | Geometria | Dimensões                       | Contexto           |
|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------------|--------------------|
| Automotivo      | Pára-choque | Sem reforço | Plana     | Área < 0.5 m <sup>2</sup>       | Acabamento externo |
|                 |             |             |           |                                 | Exposição UV       |
|                 |             |             |           |                                 | Choque físico      |
|                 |             |             |           | 0.5 < Área < 1.0 m <sup>2</sup> |                    |
|                 |             |             | Espacial  | Volume < 0.5 m <sup>3</sup>     |                    |
|                 |             |             | Complexa  |                                 |                    |
|                 |             | Com reforço |           |                                 |                    |
|                 | Pára-lama   |             |           |                                 |                    |
| Eletrodoméstico |             |             |           |                                 |                    |
| Móvel           |             |             |           |                                 |                    |

Seguindo-se a lógica concebida para a busca, neste nível o usuário escolheria sequencialmente a categoria, o tipo e assim sucessivamente até o nível mais baixo da cadeia de busca. Assim apresentarse-ia o critério de busca por categoria do produto, listandose materiais específicos para aquele grupo indicado. Ao avançar a busca aos níveis mais baixos, haveria um estreitamento dos materiais disponíveis até o nível de escolha do usuário. Ao aprofundar-se na busca,

o sistema deve ser capaz de fazer as correlações devidas entre a estrutura, a geometria e as dimensões do produto para definir qual o melhor método de produção da peça desejada e sugerir-lo ao usuário quando da apresentação dos resultados. Opcionalmente poderá o usuário indicar o processo produtivo que julgue apropriado, em função da disponibilidade do equipamento, por exemplo.

Caso o usuário prefira, pode ser alternativamente executada a inserção das propriedades físico-químicas ou mecânicas dos polímeros pretendidos. Neste modo de busca, o seletor deve guiar-se pelos limites máximos e/ou mínimos das propriedades individuais informadas em comparação com os dados armazenados nos bancos de dados de materiais do seletor, a exemplo dos critérios adotados pelo Mas2<sup>15</sup> ou do Matweb<sup>16</sup>.

Visando a uma busca simplificada, o seletor indicaria ao usuário, a exemplo do Designinsite<sup>17</sup>, a lista de materiais conhecidos já empregados na fabricação de um determinado produto. Assim, caso o usuário deseje projetar uma cadeira em material polimérico, o *site* deve mostrar-lhe os diversos tipos de cadeiras disponíveis em seu banco de dados já conhecidas, listando os materiais empregados para o fim específico. Caberá ao usuário concordar ou não com a indicação ou, alternativamente, reiniciar o processo de busca utilizando-se de um dos outros critérios adotados pelo seletor.

Com a indicação dos dados iniciais pelo usuário, o sistema deve consultar os bancos de dados, correlacionando os dados inseridos com aqueles armazenados, para selecionar os materiais prováveis, formando um primeiro banco de materiais. Num nível seguinte, o usuário é solicitado a refinar a busca, indicando condições específicas ao seu caso, como temperatura de operação, prazo

---

<sup>15</sup> SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul/03 e Set/04.

<sup>16</sup> SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

<sup>17</sup> SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em Jul/03 e Set/04.

de vida útil desejado, entre outras características peculiares. Uma nova seleção e a indicação ao usuário dos novos resultados viriam a seguir.

Estabelecendo-se o vínculo (Quadro 3) entre os comandos que devem ser inseridos pelo usuário com as ações esperadas dele e as respostas do sistema associadas às ações deste, chega-se à seguinte interface homem-máquina:

Quadro 3 - Interface homem-máquina proposta para o modelo de seletor de materiais

| <b>Comandos do usuário</b>        | <b>Ação esperada do usuário</b>  | <b>Resposta do sistema</b>                            | <b>Ação esperada do sistema</b>   |
|-----------------------------------|--|---|---|
| <b>Inserção</b> dos dados básicos | <b>Seleção</b> do tipo de produto na lista do software ou <b>Inclusão</b> dos dados básicos ou <b>Inclusão</b> da forma geométrica aproximada do produto | <b>Consulta</b> aos bancos de dados                   | <b>Associar</b> o pedido do usuário ao(s) material(is) correlato(s)                           |
|                                   |  | <b>Separar</b> os materiais que atendem aos critérios | <b>Formar</b> um banco de dados com os resultados da pesquisa                                 |
| <b>Detalhar</b> os requisitos     | <b>Refinar</b> os dados inseridos  | <b>Comparar e responder</b>                           | <b>Avaliar</b> os resultados, comparando-os aos dados necessários <b>propor</b> as respostas. |

O Quadro 3 deve ser interpretado da esquerda para a direita e de cima para baixo, associando-se a cada ação do usuário a respectiva resposta do sistema listada no mesmo nível.

Num segundo nível de detalhamento da proposta (Quadro 4), apresenta-se o encadeamento dos comandos do usuário necessários e as ações executadas pelo software para conclusão da tarefa proposta.

Para a apresentação dos resultados o sistema deveria considerar, além da listagem como os seletores atualmente apresentam, a construção de um gráfico “teia de aranha” como o da Figura 9,

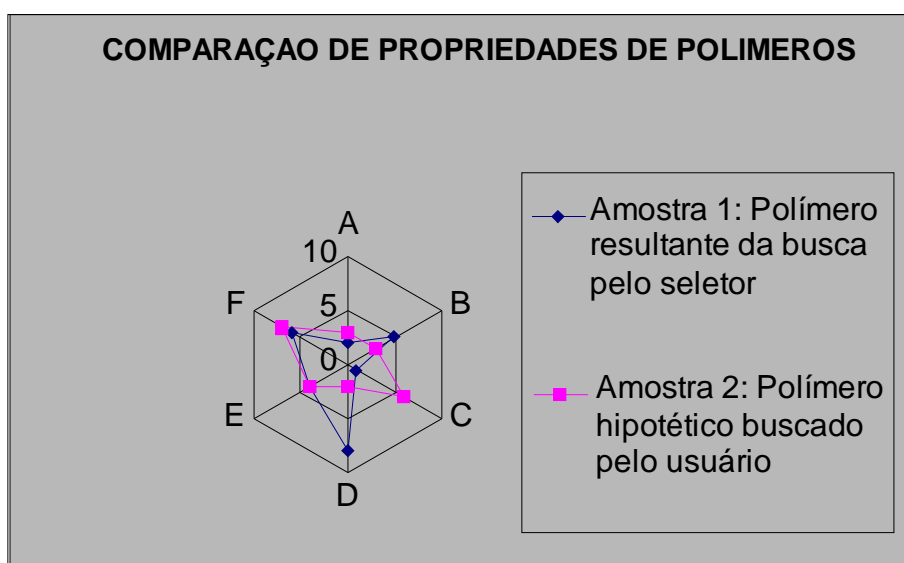
mostrando como as propriedades requeridas são atendidas dentro da escala proposta, de forma a permitir ao usuário avaliar se o não- atendimento por inteiro da variável específica compromete a aplicação ou se esta pode ser analisada com mais critério num teste experimental.

Quadro 4 - Detalhamento do funcionamento do seletor proposto

| <b>Nível da aplicação</b> | <b>Comandos do usuário</b>   | <b>Resposta do sistema</b>  | <b>Resultados obtidos</b>   |
|---------------------------|--|---|---|
| <b>Inserir</b>            | Indicar a categoria do produto   | Restringem o banco de dados só os materiais destinados à categoria pretendida                   | Formase o primeiro grupo de materiais possíveis de serem aplicados ao caso concreto. Pode a cada etapa mostrar ao usuário quantos materiais foram desconsiderados com o novo critério e quantos ainda restam. Armazena os critérios para alteração ou consulta ou novos cálculos. |
|                           | Indicar o tipo de produto  | Restringem o resultado anterior só os materiais aplicáveis ao tipo pretendido                   |   |
|                           | Indicar a estrutura pretendida   | Restringem novamente o resultado anterior àqueles materiais que atendam ao critério estrutural. |   |
|                           | Indicar a geometria  | Nova restrição, permanecendo só os materiais adequados à geometria proposta.                    |   |
|                           | Indicar as dimensões   | Verifica eventuais restrições aos materiais restantes.  |   |
|                           | Indicar o âmbito de aplicação  | Exclui do resultado materiais que não atendam às exigências impostas.                           |   |
| <b>Detalhar</b>           | Selecionar características adicionais ao projeto (Uso de material reciclado, Filme multicamada, reciclabilidade) | Verifica nos resultados quais não atendem aos novos requisitos e exclui do resultado.           | Escolha no resultado anterior daqueles com maior probabilidade para atender aos requisitos solicitados  |
| <b>Concluir</b>           | Indicação do processo de fabricação (Opcional)   | Indicação do processo de fabricação mais adequado caso o usuário não restrinja                  | Indicação dos materiais mais prováveis para atender às solicitações   |
|                           | Restrição ao custo do material   | Verifica nos resultados quais não atendem aos novos requisitos e exclui do resultado            |   |
|                           | Outros critérios   |   |   |

Na Figura 9, a amostra 1 representa uma alternativa à amostra 2, polímero hipotético buscado pelo usuário. Após a conclusão da busca no seletor, o gráfico mostra de forma simplificada quais propriedades ou características especificadas pelo usuário (A, B, C, D, E, F) foram atendidas, superadas ou ficaram abaixo do solicitado.

Figura 9 – Modelo de gráfico para apresentação dos resultados do seletor proposto



O ideal seria poder contar com as três técnicas interligadas, utilizando-se o critério de materiais indicados para um segmento/produto para uma primeira seleção, em seguida o critério de propriedades mecânicas e físico-químicas, para, finalmente, oferecer ao usuário a ficha técnica dos materiais selecionados e o auxílio de um técnico, no caso de necessidade de esclarecimento de dúvidas ou de consulta a situações particulares imprevistas no escopo do seletor.

Na hipótese de novas situações imprevistas anteriormente, o *site* deveria ser, depois de comprovada a falta de cobertura, atualizado para prever a nova condição, mantendo-se constantemente atualizado como o último nível de informação técnica disponível.



Um convênio celebrado entre os mantenedores do seletor idealizado e os diversos fabricantes ou comerciantes de polímeros (no caso de importados) pode ser a fonte do banco de dados dos polímeros a serem considerados na seleção, oferecendo sempre ao usuário *grades* comercialmente disponíveis ao invés de simples indicação de propriedades teóricas, obtidas de manuais e catálogos sem conexão com os polímeros disponíveis para uso industrial. A atualização dos dados dos polímeros mantidos no banco de dados consolidado seria de encargo dos responsáveis pela comercialização, com direito a *merchandising* como forma de compensação pela participação e correção dos dados fornecidos. Oferecer o *site* como forma de contacto de clientes com as companhias pode ser outra forma de viabilização do projeto.

#### 6.4 O PROCESSO DE SELEÇÃO DA ALTERNATIVA À PPA COM FORNECEDORES

Ao constatar-se que os seletores de materiais não responderam adequadamente à solicitação de indicação de materiais substitutos, os vários fornecedores locais de materiais poliméricos foram contatados e solicitados a propor alternativas viáveis à PPA, sabendo-se que a montadora não deseja alterar a especificação do produto final. Desta maneira, polímeros como diferentes poliamidas (PA), puras ou em misturas com cargas minerais e um outro fornecedor de PPA instalado no Brasil (mas produzida na planta da empresa no exterior) propuseram alternativas que foram inicialmente caracterizadas quimicamente e analisadas quanto à compatibilidade com a especificação do produto final requerido. Para a eliminação de possibilidades, foram consideradas inclusive as características de projeto do molde quanto à sua adequação ao tipo de material proposto pelos diferentes fornecedores. Aqui também a intenção foi a de se ter um mínimo de investimento na alteração do molde de injeção desenhado de acordo com o projeto da peça análoga produzida por outro fornecedor na Europa,

desenvolvido para PPA. Assim, materiais cujas características exigiriam uma ferramenta completamente diferente foram descartados de imediato, permanecendo em consideração apenas a PPA fornecida pelo fornecedor local em contraposição ao importado, poliamidas reforçadas com fibra de vidro de dois outros fornecedores e uma mistura polimérica à base de policarbonato (PC) e poli (tereftalato de butileno) (PBT). Estes materiais foram injetados no molde sendo usado pelo fornecedor local para verificar a adequação material-molde e em seguida foram caracterizados.

#### 6.4.1 Os dados obtidos com a PPA de fonte importada

A PPA em uso pelo fabricante da portinhola de combustível é obtida via importação direta do fabricante da peça brasileiro ao fabricante do polímero no exterior, sem intermediação local.

Por suas características físicas e químicas, a PPA requer enormes esforços na adaptação de condições de processamento e injeção, tanto do material a injetar quanto da peça já moldada. A superfície do material transformada na peça final torna-se de tal maneira incompatível com a aplicação de uma camada de tinta para o acabamento final da peça, que a aplicação de um *primer* de ancoragem desta camada de tinta é imprescindível, o que causa, entre outros efeitos, um aumento no tempo de produção da peça e problemas de qualidade na pintura final, o principal deles conhecido como “casca de laranja”, que é uma superfície irregular como o aspecto da casca da fruta.

Durante os testes de adaptação do processo para início de produção desta peça com a PPA foram constatadas várias deficiências:

- Um rejeito de aproximadamente 60 % das peças injetadas devido à formação de linhas de fluxo de injeção, que comprometem o aspecto visual da peça mesmo com a aplicação de uma espessa camada de *primer* de pintura;

- Manchas na superfície devido à degradação do polímero em função da alta temperatura necessária para a injeção e o longo tempo de residência no bico de injeção;
- Com o ferramental construído na Europa a peça final apresentava uma descentralização em relação ao bocal do tanque de combustível, o que exigiu algumas alterações no processo para correção;
- Empenamento da peça em relação à carroceria do veículo devido à instabilidade dimensional e tensões internas da peça injetada, o que exigiu a confecção de dispositivos de estabilização dimensional, com limitação de capacidade produtiva.

#### **6.4.2 Os Dados obtidos com a PPA de fonte local**

A PPA de fonte local, assim caracterizada para indicar a PPA fornecida no mercado local pela filial brasileira do fabricante no exterior, foi analisada como possível substituta à PPA importada. Constatou-se que a PPA de fonte local apresentava uma menor estabilidade dimensional, gerando tensões que necessitavam maior tempo de residência nos dispositivos de estabilização de conformação geométrica (os chamados “berços”), diminuindo ainda mais a produtividade. Verificou-se também que este material era mais difícil de manusear que a PPA diretamente importada. Vários testes de injeção foram conduzidos, tentando estabilizar o processo e verificar as deficiências, propondo correções. Os técnicos de injeção depararam-se com necessidades de modificação do polímero e do processo de injeção, aos quais o fornecedor local da PPA não pôde atender. O fornecedor também não compareceu a alguns destes testes para dispensar o auxílio neste processo de adaptação, o que acarretou a exclusão desta fonte de suprimento. Além destes fatos, os mesmos problemas que ocorrem com a PPA de fonte importada aparecem com esta matéria-prima, de forma mais acentuada, o que inviabilizou a sequência dos testes. Assim, a caracterização mais detalhada

deste polímero não foi efetuada e descartouse a utilização desta nova PPA, por apresentar mais desvantagens do que a matéria-prima já conhecida.

#### **6.4.3 Os Dados obtidos com poliamidas reforçadas com fibra de vidro**

Todas as amostras testadas com poliamidas reforçadas com fibra de vidro proporcionaram ao produto bom aspecto visual, mas um resultado bem inferior ao obtido com a PPA nos quesitos empenamento e estabilidade dimensional. O uso destes materiais apresenta taxas de contração muito diferente das obtidas com a PPA. Assim, as alterações na ferramenta e nas condições de injeção teriam de ser muito significativas para a correção destes problemas, demandando tempo e investimentos não previstos para este projeto. Além disto, a especificação de qualidade da portinhola estabelecida pelo fabricante do veículo precisaria ser reformulada, o que exigiria a anuência da matriz, por se tratar de um veículo de classe mundial. Há ainda o fato de o veículo em questão ser exportado para países como Canadá, com temperaturas muito baixas por longos períodos do ano. Nestas condições, a fragilidade da peça construída com estes materiais seria mais um fator a descredenciar seu uso neste estudo de caso.

O Quadro 5 mostra os resultados da caracterização preliminar das poliamidas pesquisadas. As deficiências técnicas destes materiais para o uso com a ferramenta em questão (diferença muito acentuada do coeficiente de contração, o desenho do molde feito especificamente para PPA) e as dificuldades burocráticas decorrentes (solicitação à matriz no exterior da alteração da especificação da peça final) não justificaram maiores esforços e descartaram-se estas alternativas igualmente.

Quadro5 - Caracterização das poliamidas testadas

| <b>POLIAMIDAS (reforçadas com fibra de vidro)</b> | <b>PA6 30% FV</b>          | <b>PA6 35% FV</b>          |
|---|----------------------------|----------------------------|
| Dureza penetração de esfera, ISO 2039/1           | $\geq 170 \text{ n/mm}^2$  | $\geq 175 \text{ n/mm}^2$  |
| Resistência à flexão, DIN 53452                   | $\geq 120 \text{ n/mm}^2$  | $\geq 125 \text{ n/mm}^2$  |
| Resistência a impacto com entalhe, DIN 53453      | $\geq 7,0 \text{ KJ/m}^2$  | $\geq 7,0 \text{ KJ/m}^2$  |
| Resistência a impacto sem entalhe, DIN 53453      | $\geq 36,0 \text{ KJ/m}^2$ | $\geq 50,0 \text{ KJ/m}^2$ |
| Ponto de fusão (°C), determinado por DSC          | 215                        | 215                        |

#### 6.4.4 Os Dados obtidos com a mistura PC/PBT

Por sua vez, o fornecedor da mistura PC/PBT, quando contatado para o auxílio na busca de polímero alternativo à PPA, envolveu-se adequadamente com o projeto, disponibilizando recursos materiais e tecnológicos necessários à correta seleção e adaptação do material ao molde. Os estudos, inclusive com *software* próprio do fornecedor visando simular condições de injeção e operação, auxiliaram grandemente no processo de seleção, reduzindo tempo e custos nesta fase. A reprodutibilidade do processo de injeção também foi exaustivamente estudada em software de simulação pelo fornecedor da peça em conjunto com o fornecedor do polímero, o que causou adequação da janela de processo de injeção à demanda da peça pronta. Os dados relativos a este estudo, por serem de propriedade da empresa detentora do *know-how* não foram disponibilizados, mas apenas informados os parâmetros de processo em faixas de valores mínimos e máximos para o fabricante da peça. Desta forma, houve também uma ampliação da janela de pintura, com impacto econômico tanto pela redução do preço do material quanto pelo aumento da produtividade. Por janelas de produção e pintura são compreendidos os tempos disponíveis para cada um dos processos citados.

Serão tanto melhores quanto maiores forem, pois permitirão a execução das tarefas necessárias com mais atenção e cuidados.

Injetada a peça com a mistura PC/BT no molde desenhado para a PPA importada, constatou-se uma pequena descentralização do eixo longitudinal da peça, o que necessitaria de uma pequena correção do ferramental, cujo estudo econômico-financeiro de viabilidade provou retornar o investimento em curtíssimo prazo. A limitação da substituição está, portanto, no atendimento dos requisitos técnicos da peça final. Os outros problemas relatados com os materiais anteriores – empenamento e aspecto visual – foram resolvidos facilmente, sendo o processo de acabamento final da peça grandemente melhorado.

Analizada a mistura PC/PBT conforme a norma da montadora para materiais de acabamento externo (Tabela 7), verificou-se que o material proposto atende às solicitações requeridas, apresentando boa estabilidade dimensional, atendendo aos requisitos de pintura superficial, sendo o material finalmente homologado pela montadora para o fim específico.

Para efeitos de comparação foi traçado um gráfico comparativo de propriedades, mostrado a seguir na Figura 10, com o objetivo de verificar como as propriedades do material proposto se enquadram com as da PPA original. As propriedades que aparecem numeradas sequencialmente nesta Figura correspondem aos números atribuídos a cada um dos ensaios realizados na Tabela 7 que são os dados de origem destes resultados.

Observase que o novo material apresenta um alongamento na ruptura inferior ao da PPA. Contudo, isto não inviabiliza do ponto de vista técnico a peça moldada com o novo material, pois do ponto de vista funcional esta não é uma estrutura sujeita a grandes deformações. No veículo ocorre apenas o basculamento da portinhola para o acesso ao bocal do tanque de combustível, podendo-se

afirmar que um alongamento de 100% seria um superdimensionamento de material que pode ser reavaliado no conjunto das outras características.

Figura 10 – Ensaios realizados e resultados obtidos: PC/PBT x especificação PPA

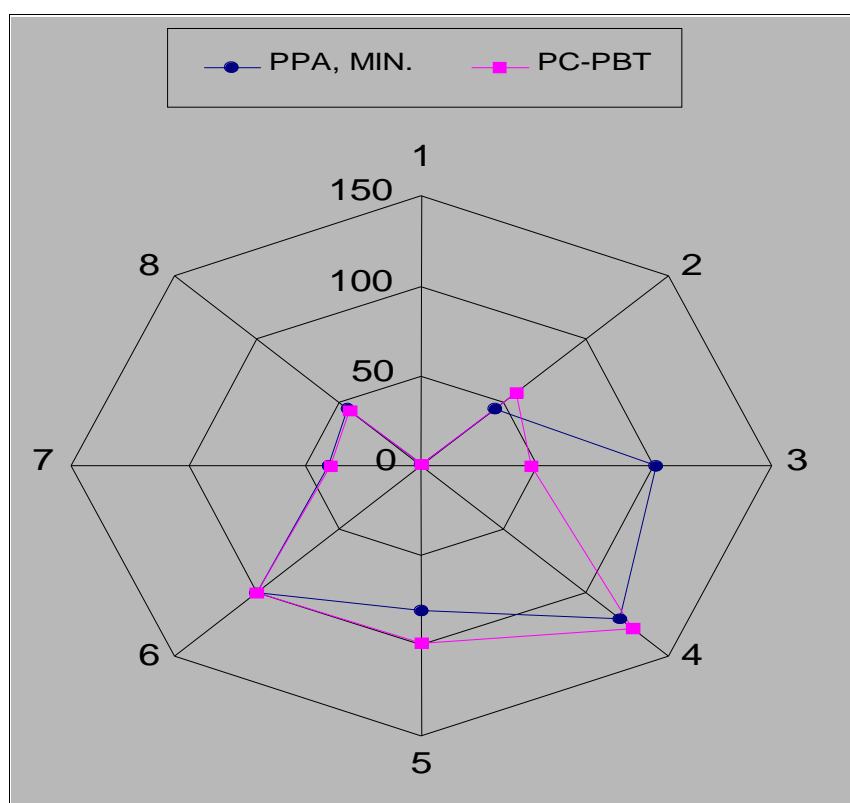


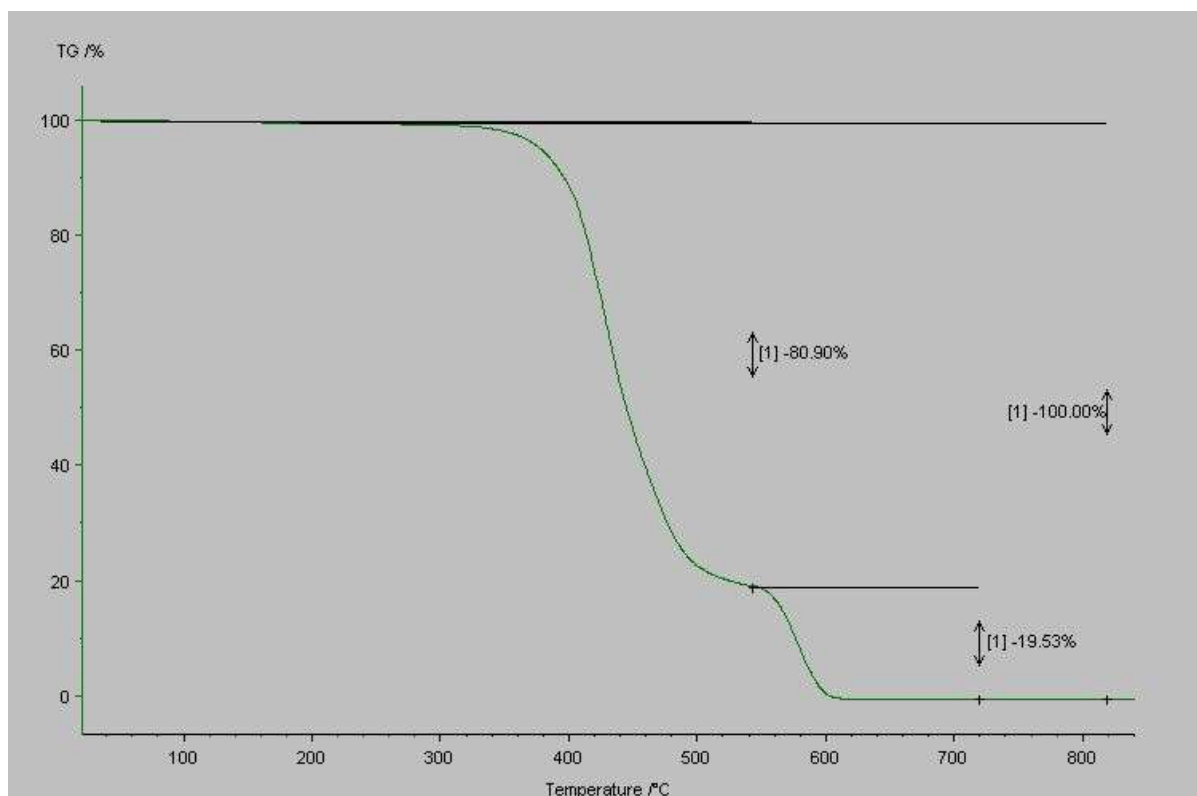
Tabela 7 – Ensaios realizados e resultados obtidos: PC/PBT x especificação PPA

| Nr. | ENSAIO   | PPA, MÍN. | PC/PBT |
|-----|--|-----------|--------|
| 1   | Densidade DIN 53479, g/cm³                                       | 1,19      | 1,20   |
| 2   | Tensão no escoamento EN ISO 527-2 (velocidade 100 mm/min), N/mm² | 45        | 57,10  |
| 3   | Alongamento na ruptura EN ISO 527-2 (velocidade 100 mm/min), %   | 100       | 47,40  |
| 4   | Resist. deformação térmica VICAT, processo B50 EN ISO 306, °C    | 120       | 127,50 |
| 5   | Dureza compressão esfera DIN EN ISO 2039-1 (358 N/30 seg), N/mm² | 80        | 98,20  |
| 6   | Resist. impacto sementalhe, 23°C EN ISO 179-1, KJ/m²             | 100       | 100,00 |
| 7   | Resist. impacto comentalhe, 23°C EN ISO 179-1, KJ/m²             | 40        | 39,20  |
| 8   | Resist. à tração EN ISO 527-2 (velocidade 100 mm/min), N/mm²     | 45        | 43,40  |

Os resultados das análises de TGA e DMA de amostras da mistura PC/PBT encontram-se nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

Analisando-se a Figura 11, onde se plota no eixo das abscissas a temperatura de incineração da amostra em °C, e no eixo das ordenadas a percentagem de material da amostra incinerada, verifica-se que a mistura PC/PBT não possui carga mineral, sendo composta de aproximadamente 80% de PBT e 20% de PC.

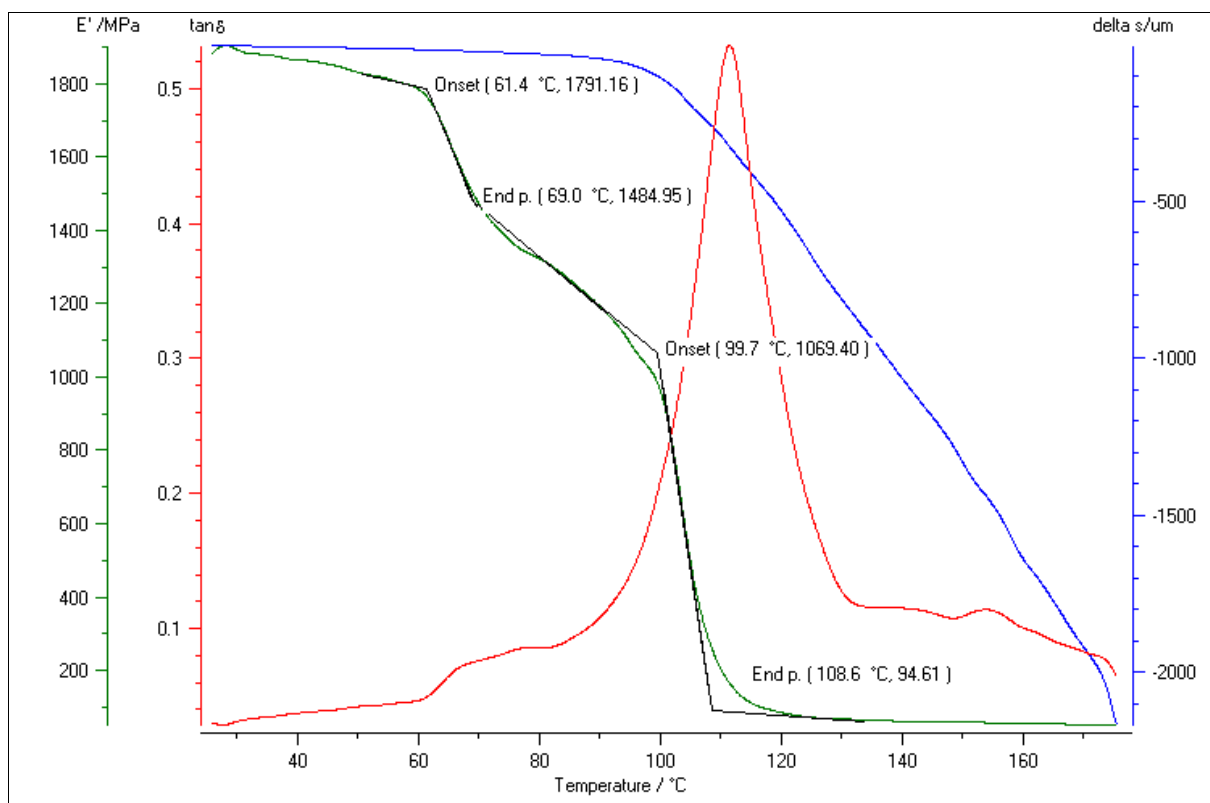
Figura 11 - TGA: mistura PC/PBT





Na Figura 12, o eixo das abscissas representa a temperatura em °C a que a amostra foi submetida. Nas ordenadas, no eixo verde se plota a energia (em Mpa) aplicada à amostra. No eixo vermelho está expressa a tangente do ângulo delta, que corresponde à  $T_g$  da amostra. É nítido o pico de  $T_g$  que corresponde à  $T_g$  em 114 °C, embora os picos referentes ao PBT puro e ao PC puro (50 °C e 145 °C, respectivamente) estejam pouco destacados, deslocados e alargados, sugerindo que a mistura esteja compatibilizada em alto grau.

Figura 12 - DMA: mistura PC/PBT



Uma outra evidência da compatibilização da mistura PC/PBT é a densidade do material, 1,20 g/cm³ (conforme Tabela 7), inferior à densidade teórica (MANO, 1991):

$$\rho_{PC/PBT} = 0,1953 \times 1,30 + 0,809 \times 1,20 = 1,2247 \text{ g/cm}^3$$

O resultado prático obtido é inferior a este valor e se explica com base no fato de que a mistura está compatibilizada, já que a fase cristalina e em maior proporção do PBT teria sua cristalinidade reduzida pela presença do PC, resultando numa densidade menor que o teórico previsto. Segundo Kalkar et al. (2003), o grau de cristalinidade do PBT é de aproximadamente 31%. A mistura PC/PBT 10/90 apresenta grau de cristalinidade de 22%, caindo para 12% na mistura 50/50.

Kalkar et al. (2003) estudaram o comportamento térmico de várias misturas PC/PBT (10/90, 30/70 e 50/50) e observaram que, nas misturas incompatíveis, as inflexões referentes às temperaturas de transição vítrea do PBT (50°C) e do PC (145°C) aparecem isoladamente nas curvas de DSC. Como os autores não analisaram a mistura PC/PBT na proporção 20/80, mas apenas nas proporções 10/90 e 30/70, poder-se-ia esperar valores de  $T_m$  entre 217°C e 219°C, caso a mistura fosse incompatível.

Os picos de  $T_g$  dos polímeros puros não aparecem claramente na Figura 12, numa clara indicação que a mistura está bem compatibilizada. O pico característico em 114°C indica uma fase amorfa, contendo ambos os componentes numa proporção tal que depende da composição da mistura e das condições de sua preparação, segundo informam Kalkar et al. (2003). Pela alta definição do pico pode-se inferir a alta homogeneidade da amostra.

## 6.5 HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DA MISTURA PC/PBT

A seguir, para um melhor esclarecimento sobre este material, buscou-se na literatura alguma informação mais detalhada sobre seu surgimento, suas propriedades e principais usos.

A mistura resultante da compatibilização entre estes dois polímeros foi desenvolvida para atender aos novos conceitos de combinação de propriedades exigidos pela indústria automobilística mundial para fabricação de peças tanto de acabamento interno como externo. O emprego mais comum deste tipo de mistura está em painéis de instrumentos, para choques sem reforço metálico, *spoilers*, painéis laterais externos, entre outros.

Os trabalhos para o desenvolvimento da tecnologia envolvida neste material iniciaram-se na década de 1970 na Europa e culminou com sua homologação pela indústria automobilística daquele continente no início da década de 1980, conforme observações e histórico obtido dos fabricantes deste material<sup>8</sup>. Atualmente, mais de duas dezenas de tipos desta resina estão sendo produzidas e comercializadas por diversas plantas fabricantes espalhadas ao redor do mundo. No Brasil, disponível como material local, a produção desta resina iniciou no final da década de 1980 em uma planta de composição de resinas no interior do Estado de São Paulo. Além da indústria automobilística, a indústria naval, aeronáutica, eletroeletrônica, entre outras, tem demonstrado interesse neste tipo de mistura polimérica.

---

<sup>1</sup> <sup>8</sup> SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://www.geoplastics.com>> Acesso em Jul/03.

### 6.5.1 Propriedades mecânicas da mistura PC/PBT

Para Kalkar et al. (2003), é conhecimento comum que as propriedades mecânicas de polímeros são fortemente influenciadas pela orientação molecular induzida que ocorre sob as mais variadas condições de processamento. Durante tais transformações macroscópicas, a orientação da rede isotrópica dos segmentos da cadeia polimérica torna-se anisotrópica, adotando diferentes conformações, desde o aspecto de uma mola até uma cadeia reta. Desta forma, discutem os autores, o estado de anisotropia e o relaxamento destas alterações conformacionais são responsáveis, em grande parte, pela determinação das propriedades mecânicas, em especial de polímeros semicristalinos e líquidos.

O PBT é um plástico de engenharia comercial, muito usado por suas propriedades mecânicas, altas taxas de cristalização e excelente moldabilidade, porém apresenta baixa resistência a impacto e baixa viscosidade de fusão. A mistura com PC lhe confere características superiores e é comercializada por vários fabricantes sob vários nomes comerciais, com o PC agindo como um modificador de impacto. Recentes investigações concluem que o PC inibe a cristalização do PBT na mistura, o que causa alterações específicas na morfologia da mistura. Desta maneira, a caracterização desta mistura em particular tem sido alvo de vários estudos (Kalkar et al., 2003; Wilkinson et al., 2002; Okamoto e Inoue, 1994; Guerrica-Echeverría et al., 2000; Samios e Kalfoglou, 2000).

O PBT é conhecido por cristalizar rapidamente, mas é um pouco quebradiço. O PC não cristaliza normalmente e possui  $T_g$  muito mais elevada que o PBT, próximo dos 155°C. Um dos critérios para uso de misturas cristalino/amorfo é a melhoria de propriedades específicas: o PBT contribui com a resistência a solventes enquanto o PC melhora a dureza e a temperatura de uso (SAMIOS E KALFOGLOU, 2000).

Por resultar de mistura mecânica entre um policarbonato e um poliéster termoplástico, esta resina exibe propriedades intermediárias entre ambos os materiais. O PC vem sendo continuamente empregado como homopolímero ou em misturas por combinar transparência com dureza e rigidez. Combinando-se PC com um poliéster com boas propriedades de dureza a baixa temperatura,  $T_g$  baixa e resistência a hidrocarbonetos, melhora-se sua ductilidade e resistência à fadiga e quebra pela ação de solventes, como comprovam Samios e Kalfoglou (2000). O teor de poliéster termoplástico pode variar de 50 % a 90 % na mistura. Quanto maior o teor de poliéster termoplástico, mais as propriedades da mistura resultante se aproximam às deste polímero. Comparativamente, uma mistura com 90 % de poliéster termoplástico apresentará alta resistência térmica e química, enquanto uma mistura com apenas 50 % deste poliéster terá maior resistência ao impacto e rigidez (Propriedades mais próximas às do policarbonato).

Kolesov et al. (1999) pesquisaram a morfologia de fases desta mistura e concluíram que amostras com teor maior de PBT na mistura apresentam formação de esferulitos, enquanto que o aumento da fração de PC na mistura causa a diminuição do diâmetro destes esferulitos. O mesmo autor e colaboradores pesquisaram também a maneira de se produzir a mistura e descobriram que a temperatura de transição vítrea é grandemente influenciada pela forma de se compatibilizar os dois polímeros. Segundo os autores, a redução da temperatura vítrea e o alargamento da transição acontecem devido ao “relaxamento” desigual das moléculas flexíveis de PBT no PC.

Wilkinson et al. (2002) revelam que a cristalização do PBT na mistura PC/PBT é inibida pela transesterificação que resulta numa redução progressiva das temperaturas de fusão e recristalização e no grau de cristalinidade desenvolvido. O estudo concluiu que o PBT forma um empilhamento bem ordenado de lamelas, com comportamento de fusão e recristalização reprodutíveis. A

transesterificação que ocorre numa mistura 50:50 perturba esta cristalização lamelar, aparentemente pela contaminação por PC das regiões amorfas intralamelares.

Hopfe et al. (1995) verificou que há a formação de um copoliéster PC/PBT em blocos de diferentes tamanhos na fusão de uma mistura destes polímeros, função da transesterificação que ocorre no processo. Quanto maior a concentração deste copoliéster tanto melhora a homogeneidade da mistura.

Em outro estudo conduzido por Cheng et al. (1997), o comportamento de relaxamento na transição vítrea de misturas PC/PBT foi avaliado via calorimetria diferencial de varredura modulada (MDSC). Chegouse à conclusão que PC de baixo peso molecular apresenta melhor miscibilidade com PBT amorfo, produzindo uma fase de transição vítrea ampla e indistinta com a da fase rica em PC da mistura. O experimento também confirmou que a melhor miscibilidade entre os componentes é obtida com componentes de baixo peso molecular.

Okamoto e Inoue (1994) comprovaramos resultados obtidos por Hobbs et al. (1988) quanto à estrutura da mistura. Micrografias de transmissão eletrônica comprovam alta conectividade entre as fases e seu espaçamento regular, com um comportamento lamelar na fase PBT.

Guerrica-Echevarría et al. (2000) pesquisaram a importância do nível de miscibilidade entre os componentes de uma mistura de polímeros e, por conseguinte, o comportamento de fase de misturas de polímeros. A tensão interfacial entre os componentes foi determinada como sendo baixa, o que torna a mistura miscível e compatível, ou seja, os componentes se mantêm predominantemente em fase homogênea, sem grandes tendências a sofrer separação.

A mistura PC/PBT é uma mistura essencialmente amorfa, que oferece excelente desempenho contra impacto numa faixa ampla de temperaturas. Combina muito boa característica de fluidez com

alta resistência ao calor. Possui excelente estabilidade dimensional, boas propriedades de adesão a tintas e colas à base de poliuretanos, bem como boa resistência aos raios ultravioletas.

Chen et al. (1997) propuseram a otimização de parâmetros de injeção da mistura PC/PBT usando o método de Taguchi, relacionando-se variáveis de processo e os defeitos encontrados nas peças durante a fase de desenvolvimento. Este caso ilustra a aplicabilidade com bons resultados deste material a peças de acabamento externo de veículos.

## 7- CONCLUSÕES

Como principais conclusões neste estudo, constatou-se:

- A busca por polímeros substitutos para a polifitalamida (PPA), conduzida nos seletores de materiais disponíveis na Internet, realizada para o estudo de caso, não foi eficiente devido:
  - À maioria dos resultados se encaixar no grupo de polímeros “poliamida reforçada com fibra de vidro”, que já fora descartado inicialmente por decisão da montadora e novamente nos testes de injeção conduzidos como sugestão de fornecedores, por apresentar-se inadequado à ferramenta de injeção da peça e à aplicação em baixas temperaturas de operação;
  - Aos outros resultados serem majoritariamente provenientes de outras classes de polímeros de alto desempenho ou especialidades, igualmente pouco usuais no Brasil e de disponibilidade e adequação à ferramenta de injeção da peça desconhecidas, sendo necessário muitos testes e gastos para chegar-se a uma conclusão, de caráter totalmente empírico;
  - Aos *sites* de busca, quando da indicação dos resultados, não apresentarem as percentagens das misturas propostas e, muitas vezes, não especificarem o tipo de poliéster que deveria ser misturado ao PC;
  - À falta de indicação por parte dos *sites* quanto aos principais usos do polímero citado para que o usuário possa saber se, em algum momento, o material já foi empregado para uma aplicação similar à de interesse, transmitindo mais confiabilidade ao resultado.
- Não foi possível encontrar nos seletores de materiais disponíveis um polímero substituto à PPA no estudo de caso realizado.
- Seria de grande importância à comunidade técnica a disponibilização de um seletor de materiais plásticos, isento de tendências à utilização de plásticos de empresas específicas, ou seja, que realmente represente uma contribuição ao usuário que busca um polímero para uma aplicação ou substituição específica, independentemente da proveniência.



- A utilização de uma mistura à base de polycarbonato e de poli(tereftalato de butileno) (PC/PBT) substitui satisfatoriamente a PPA na peça do estudo de caso deste trabalho.
- A redução de complexidade na cadeia logística global quando se emprega a mistura PC/PBT, uma vez que a nova matéria-prima é disponível no mercado local, reduzindo custos de fretes, atendendo eventuais flutuações de demanda com maior prontidão e evitando dispendiosos custos de fretes aéreos nas situações de emergência;
- A mistura PC/PBT escolhida tem composição 20/80 e está compatibilizada. A presença do PC dificulta a cristalização do PBT;
- A escolha da mistura PC/PBT representa um aumento de percentual de nacionalização dos componentes do veículo, por se tratar de matéria-prima fabricada no Brasil;
- A escolha da mistura PC/PBT representa uma redução de custos tanto da peça quanto do processo de produção, uma vez que, com a matéria-prima mais barata e com a adequação da janela de injeção da peça às condições do fabricante desta, conseguiu-se melhorar tanto os custos de material quanto os de produção;
- A escolha da mistura PC/PBT representa uma redução do peso da peça plástica pois a mistura PC/PBT 20/80 é menos densa que a PPA;
- Conforme demonstrada ao longo desta Dissertação, a substituição da PPA pela mistura PC/PBT traria enormes vantagens ao processo de produção da peça e ao gerenciamento da produção e da cadeia logística de suprimento, tanto do fabricante da portinhola de combustível quanto para a montadora de automóveis.

## 8- SUGESTÕES

Esta Dissertação, relativa à investigação de seletores de materiais comerciais atualmente disponíveis no mercado, mostra que eles poderiam beneficiar-se imensamente das conclusões obtidas neste estudo exploratório. A incorporação de pequenas melhorias nestes programas de computador e a utilização de bancos de dados mais abrangentes dos fornecedores de polímeros no Brasil geraria usuários mais satisfeitos, com resultados de busca mais condizentes com os seus interesses, trazendo substancial economia no processo de seleção de materiais plásticos.

A construção de um seletor de materiais que pudesse receber as informações dos materiais disponíveis dos fabricantes/comerciantes de polímeros no Brasil, de fonte nacional ou importada, com base no estudo e nas orientações apresentadas nos itens 6.2. e 6.3. traria grande benefício não só aos usuários, como também à comunidade científica envolvida com o projeto de produtos com matérias-primas poliméricas.

## 9- REFERÊNCIAS

- APERÇU SUR LES THERMOPLASTIQUES TECHNIQUES. Disponível em <<http://www.emsgrivory.com>> Acesso em Jul 2003.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial*, 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BERTAGLIA, P. R. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento*. São Paulo: Saraiva, 2003.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. *Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Atlas, 2001.
- CHEN, R. S.; LEE, H. H.; YU, C. Y. *Application of Tagushi's Method on the optimal process design of an injection molded PC/PBT automobile bumper*. Composite Structures 39 3/4 1997:209-214.
- CHENG, Y. Y.; BRILLHART, M. V.; CEBBE, P. *Modulated differential scanning calorimetry study of blends of poly(butylene terephthalate) with polycarbonate*. Thermochimica Acta 304/305 1997:369-378.
- CHING, H. Y. *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada*. São Paulo: Atlas, 1999.
- CHRISTOPHER, M. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços*. São Paulo: Pioneira, 1997.
- CORTIÑAS LOPEZ, J. M. *Os custos logísticos do comércio exterior*. São Paulo: Aduaneiras, 2000.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. *DIN EN ISO 179-1: Kunststoffe - Bestimmung der Charpy-Schlageigenschaften - Teil 1: Nichtinstrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung*. Obtido em <<http://www.din.de>> Acesso em Jul/2003.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. *DIN EN ISO 306: Kunststoffe - Thermoplaste - Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur*. Obtido em <<http://www.din.de>> Acesso em Jul/2003.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. *DIN EN ISO 527-2: Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen*. Obtido em <<http://www.din.de>> Acesso em Jul/2003.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. *DIN EN ISO 2039-1: Kunststoffe - Bestimmung der Härte - Teil 1: Kugeleindruckversuch*. Obtido em <<http://www.din.de>> Acesso em Jul/2003.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. *DIN 53479: Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren- Bestimmung der Dichte.*

DIAS, C. *Avaliação de usabilidade: conceitos e métodos.* Brasília: UNB, 2002.

DORNIER, P.-P.; ERNST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. *Logística e Operações Globais: texto e casos.* São Paulo: Atlas, 2000.

GRISKEY, R. G. *Polymer Process Engineering.* New York: Chapman & Hall, 1995.

GUERRICA ECHEVERRÍA, G.; EGUIAZÁBAL, J. I.; NAZÁBAL, J. *Interfacial tension as a parameter to characterize the miscibility level of polymer blends.* *Polymer Testing* 19 2000:849-854.

HANDABAKA, A. R. *Gestão Logística da Distribuição Física Internacional.* São Paulo: Maltese, 1994.

HEMAIS, C. A. *Polímeros e a Indústria Automobilística.* *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, nr. 2, p. 107-114, 2003.

HOBBS, S. Y.; DEKKERS, M. E. J.; WATKINS, V. H. *Effect of interfacial forces on polymer blend morphologies.* *Polymer* 29-9 1988: 1958-1602.

HOPFE, I.; POMPE, G.; EICHHOM, K.-J.; HÄUßLER, L. *FTIR spectroscopy of PC/PBT melt blends: influence of crystallite morphology and copolyester content.* *Journal of Molecular Structure* 349 1995:443-446.

IBM EASE OF USE, DESIGN SITE. Disponível em <<http://www3.ibm.com/ibm/esay>> Acesso em Jul 2004.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANISATION. *ISO/IEC 9126: Software engineering – Product Quality.* Obtido em <<http://www.iso.org>> Acesso em Jul 2003.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANISATION. *ISO/IEC 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - Guidance on usability.* Obtido em <<http://www.iso.org>> Acesso em Jul 2003.

JAMBOR, A.; BEYER, M. *New Cars, New Materials.* Technical Report, *Materials and Design*, v. 18, nr. 4 / 6, p. 203-209, Great Britain, 1997.

KALKAR, A. K.; SIESLER, H. W.; PFEIFER, F.; WADEKAR, S. A. *Molecular orientation and relaxation in Poly(butylene terephthalate)/polycarbonate blends.* *Polymer* 44 2003:7251-7264.

KOLESOV, I. S.; RADUSCH, H.-J. *Untersuchung der Segmentbewegung in Polybutylenterephthalat/Polycarbonat-blends mittels der Thermisch Stimulierten Depolarisationsstrom-Methode*. European Polymer Journal 35 1999:527-541.

MACLEOD, M. *Usability practical methods for testing and improvement*. In: Proceedings of the Norwegian Computer Science Software 1994. Disponível em <<http://www.usability.serco.com/papers/mmus94.pdf>> Acesso em Jul 2003.

MANO, E. B. *Polímeros Como Materiais de Engenharia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

NIELSEN, J. *Usability Engineering*. Boston: Academic Press, 2003.

OKAMOTO, M.; INOUE, T. *Phase separation mechanism and structure development in poly(butylene terephthalate)/polycarbonate blends*. Polymer 2-35 1994:257-261.

POLYPHTHALAMIDE DESIGN GUIDE. Disponível em <<http://www.solvay.com>> Acesso em 16 jul 2003.

ROSATO, D. V.; ROSATO, D. V. *Injection Molding Handbook*. 2. ed. New York: Chapman & Hall, 1995.

SAMIOS C. K.; KALFOGLOU, N. K. *Compatibility characterization of polycarbonate/copolyester blends*. Polymer 41 2000:5759-5767.

SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/index.html>> (Manufacturing Advisory Service da Universidade de Berkeley). Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://www.geoplastics.com>> Acesso em Jul 2003.

SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em [http://www.rhodiaep.com/ep/ms\\_search\\_form.jsp](http://www.rhodiaep.com/ep/ms_search_form.jsp). Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

SELETOR DE MATERIAIS. Disponível em <[http://www.ticona.com/tools/search/lit\\_search.cfm](http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm)> Acesso em Jul 2003 e Set 2004.

SHERCLIFF, H. R.; LOVATT, A. M. *Selection of manufacturing processes in design and the role of process modelling*. Progress in Materials Science 46 (2001) 429-459.

SYDENSTRICKER, T. *Informações sobre Seletores de Materiais*. UFPR, Curitiba, 2003. Anotações de aula da disciplina TM-792 "Seletores de Materiais".

TRETHERWEY, K. R.; WOOD, R. J. K.; PUGET, Y.; ROBERGE, P. R. Development of a knowledge-based system for materials management. *Materials and Design*, v. 19, p. 39-56, 1998.

USABILITYFIRST. Disponível em <<http://www.usabilityfirst.com>> Acesso em Jul 2003.

USABILITY PROFESSIONALS ASSOCIATION. Disponível em <<http://www.upa.org>> Acesso em Jul 2003.

USEIT (Jakob Nielsen). Disponível em <<http://useit.com>> Acesso em Jul 2003.

VAN KREVELEN, D. W.; *Properties of Polymers – their correlation with chemical structures , their numerical estimation and prediction from additive group contributions*. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 1990.

VIEIRA, L. A. *Projeto de pesquisa e monografia: o que é? Como se faz?* Normas da ABNT. 2. ed. Ver. Curitiba: Ed. Do Autor, 2004.

WATERMAN, N. A.; ASHBY, M. F. (Ed.). *The Materials Selector*. 3 volumes. 2. ed. Londres: Chapman and Hall, 1997.

WILKINSON, A. N.; TATTUM, S. B.; RYAN, A. J. *Inhibition of crystalline structure development in a reactive polycarbonate-poly(butylene terephthalate) blend*. *Polymer Bulletin* 48 2002:199-206.